(Aus dem Physiologischen Laboratorium der Ohren-Klinik in der Kgl. Charité zu Berlin.)

Über die „Resonanz“ der Mundhöhle und der Nasenräume, im besonderen der Nebenhöhlen der Nase.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Medizinischen Doktorwürde

an der

Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin

von

Max Giesswein

approbiertem Arzt aus Schortewitz,

Unterarzt beim 7. Badischen Infanterie-Regiment No. 142, Mülhausen i. E.

ACAD. MEDICINAE BIBL.

Tag der Promotion: 16. Februar 1911.

ALLZEIT VORAN S. K.

BERLIN 1911

VERLAG VON S. KARGER

KARLSTRASSE 15.

34

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität Berlin.

Referent: Geh. Med.-Rat Prof. Dr. *Passow*.

Sonder-Abdruck aus Passow und Schaefer, Beiträge zur Anatomie, Physiologie, Pathologie und Therapie des Ohres, der Nase und des Halses. Band IV. (1911.)

Meinem Vater

in Dankbarkeit

gewidmet.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41535712_0141

Mehr denn je hat sich die Wissenschaft in den letzten Jahrzehnten der Aufklärung und Erforschung der menschlichen Stimmbildung zugewandt. Anatomie, Physiologie, Akustik, Phonetik, Photographie und Röntgenstrahlen werden nutzbar gemacht, komplizierte Apparate und Instrumente werden erdacht, um einen Einblick zu gewinnen in das Werden des menschlichen Stimmklangs. Hülfe und Auskunft suchend wendet sich die Gesangspädagogik, soweit sie nicht selbst schon auf eigene Faust eine wissenschaftelnde Richtung eingeschlagen hat, an den Physiologen und den Arzt. Sofern die spezielle wissenschaftliche Forschung sich die Aufgabe stellt, die mannigfachen Auswüchse der Stimmpädagogik, deren kümmerliche und ungeniessbare Früchte der Arzt allzu häufig in die Hände bekommt, zu beschneiden und durch Nachweis von Irrtümern und Ausmerzung falscher Begriffe die Stimmpädagogik in natürlichere Bahnen zu weisen nach dem Grundsatz: „primus sapientiae gradus falsa intelligere, secundus vera cognoscere", wird sie berufen sein, befruchtend und fördernd auf den Kunstgesang einzuwirken.

Ein altes Bestreben aller, deren Beruf eine starke Inanspruchnahme des Stimm- und Sprachorganes erfordert, ist es, Wege und Mittel zu finden, um die menschliche Stimme klangvoller und weittragender zu gestalten und andererseits unnützem Kräfteverbrauch zu steuern, Mittel, die oft genug auf Irrpfade führten, wozu die Wissenschaft mit ihren wechselnden und einander überholenden Anschauungen oft Veranlassung bot. Von besonderer Bedeutung für Klang und Kraft der Stimme glaubte man in Vergangenheit

und Gegenwart die Nasenhöhle mit ihren Nebenhöhlen ansehen zu müssen.

Seitdem *G. Fallopio* in seinen „Observationes anatomicae" im Jahre 1562 die Lufthaltigkeit der Nebenhöhlen festgestellt hatte, wetteiferten Anatomen und Physiologen in der Deutung des Zweckes dieser Höhlen. Erst die jüngste Zeit mit ihren vergleichend entwicklungsgeschichtlichen Anschauungen hat die Nebenhöhlen der Nase — die teleologische Betrachtungsweise verlassend — als funktionell bedeutungslose Überbleibsel alter Stammesgeschichte aufgeklärt. Im ersten Kapitel seiner „Anatomie" gibt *Zuckerkandl* [1]) einen historischen Überblick über die verschiedenartigen Theorien, die im Laufe der Jahrhunderte über jene Hohlräume aufgestellt worden sind. Man brachte sie mit Geruchsperzeption, Schleimsekretion zur Feuchthaltung der Nasenschleimhaut, Vorwärmung der Inspirationsluft, Erleichterung des Gesichtsschädels und anderem mehr in Zusammenhang. Ebenso alt als jene ist aber auch die Anschauung, die *Fallopio* selbst vertrat, dass einzelne Nebenhöhlen in Beziehung stünden zur Klangfarbe und Klangstärke der Stimme, wie einige Aussprüche alter Anatomen und Physiologen beweisen mögen.

Spigelius führt in: „De humani corporis fabrica" 1646 an, man lehre von der Stirnhöhle, sie sei geschaffen, ut canora magis fit.

Kyper will sie in seiner „Anthropologia" 1660 ad vocem sonoram edendam betrachtet wissen.

Th. Bartholinus lehrte in der „Anatomia reformata" 1655 von den Stirnbeinhöhlen, dass sie ad canoram reddendam vocem dienen; quia hi in iis, qui male loquuntur, non reperiuntur.

Ähnliche Ansichten vertraten *Diemerbroeck*, *Ingrassias*, *Verheyn*.

Lieutaud erklärt in seinen „Essays anatomiques" 1766: „La cavité du nez, de même que celle de sinus qui y répondent, donnent plus de force au son et rendent la voix plus agréable."

In seinem System der vergleichenden Anatomie und Physiologie gibt *Harwood* 1799 an: „Die Nebenhöhlen sind als Hülfsmittel der Stimmwerkzeuge anzusehen, indem sie sowohl die Stärke derselben vermehren als auch den Ton der verschiedenen zur Mitteilung unserer Ideen erforderlichen Modulationen verbessern."

---

[1]) *Zuckerkandl*, Normale und pathologische Anatomie der Nasenhöhle. 1893. Bd. 1.

Obschon von manchen Autoren mit mehr oder weniger Erfolg bestritten, haben sich diese Anschauungen, wie aus dem Verlaufe dieser Abhandlung ersichtlich werden wird, bis auf den heutigen Tag in den weitesten Kreisen, wissenschaftlichen und nichtwissenschaftlichen, erhalten. Von Seiten der Ärzte haben die Nebenhöhlen der Nase lange wenig Beachtung gefunden, bis man mit Hülfe verbesserter Methoden sie als häufigen Sitz hartnäckiger Eiterungen kennen lernte. Überhaupt hat ja die Rhinologie erst in den letzten Jahrzehnten einen bedeutungsvollen Aufschwung genommen, seitdem man den Zusammenhang von Nasenaffektionen mit Erkrankungen des Ohres und der Respirationsorgane immer mehr erkannte.

Ein um so grösseres Interesse boten die Nase und ihre Nebenhöhlen für Rhetoriker und Gesangsbeflissene, die eine „geschickte Ausnützung aller verfügbaren Resonanzräume und -böden" auf ihre Fahnen geschrieben haben. Heisse Kämpfe toben um die „Nasen- und Kopfresonanz", um die „hohe Resonanz", „Resonanz in den oberen Kopfhöhlen" und wie die vielfachen Schlachtrufe heissen. Man hat dabei, wie die alten Autoren, die Vorstellung, dass gerade die Nebenhöhlen der Nase, wie die Nasenhöhle selbst, die Hauptursache des schönen Klanges der Stimme abgeben. In ihnen sollen die Obertöne ihre Verstärkung finden. Werden doch geradezu die „Resonanzen" des menschlichen Stimmorganes als Ausgangspunkt der Stimmschulung und -technik angesehen. In einer fast naiven Weise betrachtet man die Brust als den Sitz der Resonanz für die tieferen Töne: je höher der Ton, desto höher der Sitz des Resonanzortes. Solchen Anschauungen liegt die Beobachtung zugrunde, dass die Thorax-Wände bei tieferen Tönen fühlbar erschüttert werden, während mit steigender Tonskala diese Vibrationen nachlassen und nun der Kopf als der Sitz des Tones erscheint, der ja auch tatsächlich an verschiedenen Stellen Vibrationen stärkeren Grades erkennen lässt. Daher der Ausdruck „Bruststimme" und „Kopfstimme".

Bevor wir auf eine kritische Erörterung dieser Auffassung eingehen, sei in Kürze zur besseren Orientierung des Fernerstehenden eine topographisch-anatomische Übersicht der in Betracht kommenden lufthaltigen Räume des Schädels eingeschaltet bezw. ins Gedächtnis zurückgerufen.

Das ganze Höhlensystem der Nase setzt sich zusammen aus der eigentlichen Nasenhöhle und den um sie sich gruppierenden Nebenhöhlen, welche je nach dem Knochen, aus denen der Haupt-

anteil ihrer Wände gebildet wird, ihre Namen tragen. Es sind dies die Keilbeinhöhle, Stirnbeinhöhle, die paarig angelegte Oberkieferhöhle und die zahlreichen Siebbeinzellen.

Die eigentliche Nasenhöhle, die Hauptnasenhöhle, zerfällt durch eine mediane Scheidewand in eine rechte und linke Hälfte. Durch drei jederseits in das Lumen der Nasenhöhle vorspringende, gleichsam sich aufrollende dünne Knochenplatten, die „Muscheln", die etagenförmig übereinander liegend, von einer schwellungsfähigen Schleimhaut überzogen sind, entstehen drei Gänge, die „Nasengänge", von denen der mittelste der wichtigste ist. In diese Nasengänge nun münden die Öffnungen der verschiedenen Nebenhöhlen, und zwar münden jederseits in den mittleren Nasengang die Kieferhöhlen und die Stirnhöhle, sowie die vorderen Siebbeinzellen, in den oberen Nasengang die Keilbeinhöhle und die hinteren Siebbeinzellen. Der untere Nasengang weist keine Mündungen von Nebenhöhlen auf. Der eigentlichen Schilderung der Nebenhöhlen vorausgeschickt seien noch einige ihnen gemeinsame Eigentümlichkeiten. Entwicklungsgeschichtlich Ausstülpungen der Nasenschleimhaut darstellend, sind sie im postfötalen Leben nur durch äusserst kleine, die oben erwähnten, Öffnungen mit den Nasenhöhlen verbunden. Form und Grösse der Nebenhöhlen sind äusserst verschieden, je nach dem Grade der stattgefundenen Resorption der sie einschliessenden Knochenmassen und je nach den Grössenverhältnissen der Nachbarhöhlen, da sie sich gegenseitig zu verdrängen und auf Kosten der anderen auszubreiten suchen. Deshalb sind die im folgenden angeführten Zahlen über ihr Volumen und ihre Ausdehnung nur Annäherungswerte. Eine weitere Eigentümlichkeit ist es, Scheidewände innerhalb der Höhlen selbst zu bilden und sich so zu verdoppeln, wobei die eine Schwesterhöhle bedeutend grösser sein kann als die andere. Die Kommunikation zwischen den Nebenhöhlen und den Nasenhöhlen kann eine direkte sein oder indirekte durch einen Ausführungsgang von wechselnder Länge, Weite und gewundener Richtung. Mit Ausnahme derjenigen der Kieferhöhle sind ihre Mündungen stecknadelkopfgross, höchstens einige Millimeter im Durchmesser. Hinzu kommt noch, dass sie durch Schwellung der Schleimhaut vollkommen verlegt werden können. Aus der Form des ganzen Schädels oder auch nur des Gesichtsschädels lassen sich nach *Schürch* und *Schönemann* [1]) keine Schlüsse auf das Volumen ziehen.

[1]) Arch. f. Laryngologie u. Rhinologie. Bd. XVIII. 1906.

Für gewöhnlich die grösste Höhle ist die Kiefer-, auch Highmorshöhle genannt, welche jederseits lateral von der Nasenhöhle gelegen, fast den ganzen Körper des Oberkieferbeines einnimmt. Als Wandungen dienen die laterale Nasenwand, der harte Gaumen, der Augenhöhlenboden und die knöchernen Wangenpartien. Annäherungsweise besitzt die Kieferhöhle bei einigermassen regelmässiger Bildung die Form einer dreiseitigen hohlen Pyramide, deren Grundfläche die Nasenwand bildet und deren Spitze etwa im Jochfortsatz gelegen ist. Zuweilen teilt sie sich durch eine mehr oder weniger vollständige Scheidewand in zwei Fächer oder bildet verschiedene Ausbuchtungen. Mit der Nasenhöhle steht sie durch das Kieferloch in Verbindung, das in den mittleren Nasengang mündend, meist eine elliptische, auch kreisrunde oder nierenförmige Gestalt hat und oft durch eine vorspringende untere Siebbeinzelle (Bulla ethmoidalis) stark überlagert sein kann. Die Grösse des Kieferlochs wechselt nach *Hajek* [1]) von 3 mm im Durchmesser bis 19 mm in der Länge und 6 mm in der Breite. Nach *Oppikofer* [2]) betragen die Maße im Durchschnitt 5,4 mm in der Länge und 2,7 mm in der Breite.

Die Stirnhöhle, in ihrer Gestalt nicht unähnlich einer dreiseitigen, etwas abgeplatteten Pyramide, die sich zwischen den beiden Platten des Stirnbeins ausdehnt, deren Basis den Augenbrauenbögen entspricht und deren Spitze nach oben zeigt, ist hinsichtlich ihrer Grösse wohl den meisten Schwankungen unter den Nebenhöhlen unterworfen. Bald dehnt sie sich nach seitwärts bis zu den äusseren Augenwinkeln, bald breitet sie sich mehr nach hinten der Schädelhöhle zu, bald nach oben zu aus. Sie ist häufig sehr klein, kann sogar fehlen. Meist ist sie durch eine Scheidewand zweigeteilt und asymetrisch entwickelt. Ausserdem kann ihr Lumen durch sich eindrängende Siebbeinzellen stark verengt werden.

Die Keilbeinhöhle liegt als versteckteste Höhle fast im Zentrum des Schädels und ist gewissermassen der „Dachboden" zur Rachenhöhle. Oben und seitlich grenzt sie an die Schädelhöhle, vorn an die hinteren Partien der oberen Abschnitte der Nasenhöhlen. Von ihren Wandungen ist die der Nasenrachenhöhle zugewandte meist die dickste. Die unmittelbare Nachbarschaft mit wichtigen grossen Gefässen und Nerven wie mit dem Gehirn

[1]) *Hajek*, Pathologie und Therapie der entzündlichen Erkrankungen der Nebenhöhlen der Nase. 1909.

[2]) *Oppikofer*, Beiträge zur normalen und pathologischen Anatomie der Nase und ihrer Nebenhöhlen. Arch. f. Rhin. u. Laryng. Bd. XIX. 1907.

lassen chirurgische Eingriffe als gefährlich erscheinen. Auch sie ist meist durch eine Scheidewand in zwei ungleich grosse Schwesterhöhlen mit gesonderten Ausführungsgängen geteilt, wenn sie nicht schon durch vorspringende Siebbeinzellen eingeengt ist.

Die Siebbeinzellen bilden ein fast wabenartiges Labyrinth kleiner, oft kaum halberbsengrosser Hohlräume und breiten sich aus zwischen Augenhöhlen, Hirnhöhle und Nasenhöhle. Durch fast papierdünne Knochenlamellen unter sich und von der Nachbarschaft abgegrenzt, mündet eine Zelle in die andere oder jede Zelle für sich in die Nasengänge, zuweilen münden mehrere durch einen gemeinsamen Gang. Anatomisch gliedern sie sich in vordere und hintere Siebbeinzellen. In einem Wettkampfe um den beschränkten Raum begriffen, verdrängen sie sich gegenseitig, schieben sich ineinander oder wachsen in die grösseren Nebenhöhlen hinein.

Braune und *Clasen*[1]) haben neben Anderen durch Ausguss Messungen über die Kapazität der Nebenhöhlen angestellt und gefunden, dass der Gesamtraum der Nebenhöhlen grösser ist als der der Hauptnasenhöhlen. Als Mittelzahl fanden sie an vier Individuen:

für die gesamten Nebenhöhlen . .	44,6 ccm	(37,1—59,6 ccm)
für die Hauptnasenhöhlen	34,2 ccm	(26,0—41,0 ccm)

Von den einzelnen Höhlen entfielen:

auf die Stirnhöhle	4,3 ccm	(2,1—6,5 ccm)
„ „ Keilbeinhöhle	7,2 ccm	(1,0—13,4 ccm)
„ „ Kieferhöhle je	14,4 ccm	
„ „ Siebbeinzellen insgesamt .	6,9 ccm	(4,3—9,5 ccm).

v. Mihalcovics[2]) gibt folgende Maße an für die Ausdehnung der

Stirnhöhle: 28—40 mm als grösste Höhe
15—20 mm als grösste sagittale Länge
20—75 mm als grösste Breite (beide Höhlen zusammen);

Keilbeinhöhle: 17—20 mm als grösste Höhe
10—28 mm als grösste sagittale Länge
30—60 mm als grösste Breite (beide Höhlen zusammen);

---

[1]) *Braune* u. *Clasen*, Die Nebenhöhlen der menschlichen Nase in ihrer Bedeutung für den Mechanismus des Riechens. Zeitschr. f. Anatomie. 1877.

[2]) *V. v. Mihalcovics*, Anatomie der Nase und ihrer Nebenhöhlen in Heymanns Handbuch der Laryngologie und Rhinologie. Bd. III. 1900.

Kieferhöhle:

als kleinere Maße normaler Höhlen
22 mm als grösste Höhe
35 mm als grösste Tiefe
25 mm als grösste Breite;
als grössere Maße fand er 27, 30, 40 mm.

Werfen wir nun die Frage auf, in welcher Art denn eine Verstärkung des menschlichen Stimmklangs seitens dieser Höhlen zu denken sei, so müssen wir annehmen, dass sie im Sinne hartwandiger Resonatoren[1]) wirken, wie sie *Helmholtz* bei seinen klassischen klanganalytischen Versuchen in die experimentelle Akustik einführte. Bekanntermassen sind diese in ihrer Urform messingene oder gläserne Hohlkugeln mit zwei Öffnungen, deren eine einen zylinderförmigen Ansatz trägt, während die andere, trichterartig geformt, bestimmt ist, in das Ohr gesteckt zu werden. Bringt man nun einen solchen Resonator mit dem genannten Ansatzstück in das eine Ohr und verschliesst dabei das andere, so hört man die in der Umgebung erzeugten Töne geschwächt und wie von ferne klingen. Nur bei einem bestimmten Ton, dem „Eigenton", schmettert der Hohlkörper diesen mit grosser Kraft in das betreffende Ohr. Es ist dies der Ton, für welchen der betreffende Hohlraum die Erscheinung der „Resonanz" zeigt. Unter „Resonanz" haben wir demnach — für unsere vorliegenden Zwecke — das Mitschwingen eines abgegrenzten Luftraumes zu verstehen und zwar im Sinne einer objektiv wahrnehmbaren Verstärkung eines in Erregung versetzten tönenden Körpers. Dieses Phänomen tritt dann auf, wenn die Eigenperiode des in erzwungene Schwingungen zu versetzenden, abgegrenzten Luftraumes übereinstimmt mit derjenigen der von der Klangquelle im Raum ausgehenden Schwingungen. Ebenso wird der Eigenton kräftiger klingen, wenn aussen ein anderer Ton erzeugt wird, welcher den Eigenton des Resonators als einen Oberton enthält. Wirkt ein höherer oder tieferer Ton als der Eigenton auf den Resonator ein, so wird der Resonator bei nicht zu grosser Abweichung auch mittönen, nur wesentlich schwächer, und zwar mit der Schwingungszahl des erregenden Tones. Ver-

[1]) *Voltolini* vertrat diese Auffassung. Er lässt sich in seinen „Krankheiten der Nase" 1888 folgendermassen aus: „Alles thut, was es nicht lassen kann, und dass die Nebenhöhlen auch als Resonatoren wirken und die Stimme verstärken, ist natürlich, denn sie erfüllen ganz die Bedingungen von Resonatoren: kleine Eingangsöffnung in einen grossen Hohlraum."

kleinert man die Öffnung des Resonators, so wird der Ton tiefer, spricht jedoch stärker an, d. h. die Resonanz ist grösser, weshalb auch die Erschütterungen der Wände, welche die schwingenden Luftmassen hervorrufen, sich stärker geltend machen. Hingegen ist die Resonanzbreite, d. h. die Reihe der verstärkt mitschwingenden Töne geringer. Je enger die Öffnung des Resonators wird, desto genauere Übereinstimmung der Tonhöhe des angegebenen Tones mit dem Eigenton des Resonators ist notwendig.

Zum Zwecke einer besseren Veranschaulichung der Leistungen kugeliger Hohlräume im Verhältnis zu ihren Dimensionen und ihren Öffnungen sei nachfolgende Tabelle aus Versuchen von *Helmholtz* eingefügt [1]).

Tonhöhe	Durchmesser der Kugel in mm	Durchmesser der Öffnung in mm	Volumen des Hohlraumes in ccm	Bemerkungen
1.) g	154	35,5	1773	Hals trichterförmig
2.) b	131	28,5	1092	
3.) c′	130	30,2	1053	
4.) e′	115	30,0	546	
5.) g′	79	18,5	235	
6.) b′	76	22	214	
7.) c″	70	20,5	162	
8.) b′(?)	53,5	8	74	Hals zylindrisch
9.) b″	46	15	49	Ebenso; Öffnung seitlich.
10.) d‴	43	15	37	Hals zylindrisch.

Gewisse Modifikationen zeigen die Resonatoren mit weichen Wandungen, wie wir es ja bei dem kompliziertesten und variabelsten Resonator, der menschlichen Mundhöhle, finden, deren Wände zum grossen Teil aus nachgiebigen Muskelplatten bestehen. In seinen Untersuchungen über die Vokale hat *Scripture*[2]) eingehende Studien über solche weichwandigen Resonatoren angestellt. Er

[1]) *Helmholtz*, Lehre von den Tonempfindungen. 1896. 5. Aufl. Beilage II.

[2]) *Scripture*, Zeitschr. f. Biologie. 1906. Bd. 48.

konstruierte Resonatoren aus Kartoffeln, Gummi und mittels auf Drahtformen befestigter Watte, die mit Wasser getränkt, einen sogenannten „Wassserresonator" darstellte. Ein solcher Wasserresonator antwortete nicht wie z. B. ein Messingresonator auf einen bestimmten Ton, sondern auf eine ganze Tonstrecke. Der Ton bekam dabei einen eigentümlichen Vokalcharakter. Wir werden später noch darauf zurückzukommen haben.

Nachdem wir uns so Gesetze und Eigentümlichkeiten hart- und weichwandiger Resonatoren ins Gedächtnis gerufen, kehren wir wieder zu den Nebenhöhlen der Nase zurück. Die Luft in diesen Höhlen zum Tönen zu bringen, bestehen, theoretisch betrachtet, drei Möglichkeiten.

I. Der aus der Trachea heraufquellende Luftstrom kann jene luftgefüllten Hohlräumchen durch Anblasen in tönende Schwingungen versetzen, wie man eine Lippenpfeife oder einen hohlen Schlüssel oder eine leere Flasche anbläst. (Direkte Erregung.)

II. Die Nebenhöhlen können auf Grundtöne oder Obertöne, die im Stimmklang enthalten sind, abgestimmt sein und dann im zutreffenden Falle diese Töne verstärkt dem Klange beimischen (Erregung durch Luftleitung).

III. Die während des Singens und Sprechens auftretenden Erschütterungen der Knochenwände können die von diesen eingeschlossene Luftmasse zum Schwingen bringen (ähnlich wie der Resonanzkasten die von ihm eingeschlossenen Luft) und sich so wiederum als Töne dem Stimmklang beimischen (Erregung durch Wand- oder Knochenleitung).

Da nun nach unseren früheren Ausführungen die Nebenhöhlen der Nase hinsichtlich ihrer Form und Grösse äusserst verschiedenartig sind und unentwirrbare akustische Verhältnisse darbieten würden, erwies es sich als zweckmässig und notwendig, auf einfachere, mathematisch bestimm- und berechenbare Form zurückzugehen und sich durch das Experiment ein Bild von den Resonanzleistungen bei ähnlichen Grössenverhältnissen, wie sie sich bei den Nebenhöhlen finden, zu verschaffen.

Nachstehende Versuche wurden unter Leitung von Herrn Professor *Schaefer* im Physiologischen Laboratorium der Ohrenklinik in der Kgl. Charité angestellt, dessen reichhaltiges Stimmgabelmaterial eine genaue Ausführung ermöglichte. Zunächst wählten wir einfache grössere und kleinere Glaszylinder, deren

eines Ende geschlossen war, während das andere die Öffnungsgrösse des Durchmessers hatte. Analog den bei den Nebenhöhlen angenommenen Bedingungen wurden diese I.) durch Anblasen, II.) durch „Antönen" (Tonerregung von aussen durch Vorhalten der Zinken einer Stimmgabel) und III.) durch Aufsetzen des Stieles von Stimmgabeln auf die Gefässwandung (Glasboden) in Erregung versetzt. Um bei der letzten Anordnung das durch Aufsetzen der Stimmgabeln an der Gabel selbst und dem Glasboden entstehende Geräusch herabzumindern bezw. zu vermeiden, wurde beim Aufsetzen zwischen Glasboden und Stimmgabelstiel ein Holzstäbchen von 23 cm Länge eingeschaltet. Gleichzeitig stellt dies eine Verlängerung der Leitung dar. Zum Anblasen diente ein Blasebalg, mit welchem durch Gummischlauch ein Glasröhrchen verbunden war, dessen Lumen am freien Ende die Form eines schmalen Spaltes (Pendant zur Kernspalte der Lippenpfeife) hatte.

Das Abhören der Töne aus der Glasöffnung geschah mit unbewaffnetem Ohre. Es bedarf wohl keines weiteren Hinweises, dass peinlich darauf gesehen wurde, nur den Ton aus der Zylinderöffnung zu beobachten und ihn von dem Tone der im Raume, wenn auch leise, erklingenden Stimmgabelzinken, zu unterscheiden. Auch von diesem Gesichtspunkt aus erwies sich das eingeschaltete Holzstäbchen als recht praktisch. Zur Kontrolle des Anblasetones wurde stets noch die Schwingungszahl aus den Dimensionen des Glasröhrchens berechnet, wobei die *Schaefer*schen Tabellen über Tonhöhen und Tonwellenlängen zugrunde gelegt wurden [1] [2].

Die im Folgenden angegebenen Tonhöhen wurden aus der Tabelle der temperierten Stimmung mit dem Kammerton $a^1 = 435$ v. d. abgelesen, wobei kleine Differenzen zwischen der Schwingungszahl der Stimmgabel und jener Tabelle als praktisch unwesentlich vernachlässigt wurden; z. B. wurde Stimmgabel 4000 = c^5 (eigentlich 4138 Schwingungen) gesetzt.

Zur Feststellung der Tonhöhe des Anblasetones wurde eine tonleiterartige Reihe von kleineren Metalllippenpfeifen benutzt.

Versuche mit Glaszylindern.

1.

Ein zylindrisches Glasröhrchen von 14 cm Länge und 1,6 cm Durchmesser ergibt angeblasen den Ton $d^2 = 580$ Schwingungen.

[1]) *Stumpf* und *Schaefer*, Tontabellen. Leipzig 1901. J. A. Barth.

[2]) *Schaefer*, Tabellen der Schallgeschwindigkeit und Tonwellenlängen in Luft bei verschiedenen Temperaturen. Berlin 1908. S. Karger.

Beim Aufsetzen von Stimmgabeln auf den Glasboden mittels des erwähnten Stäbchens werden die Töne aller Gabeln von $c^1 = 258$ Schwingungen aufwärts bis $g^4 = 3200$ verstärkt aus der Röhrenmündung gehört und zwar wird die aufgesetzte Stimmgabel

$c^4 = 2000$ noch sehr deutlich verstärkt,
$es^4 = 2400$ weniger deutlich verstärkt,
$g^4 = 3200$ schwach bis spurweise verstärkt.

Beim Drüberhalten von Stimmgabeln über die Öffnung des Glasröhrchens („Antönen") wirkt der Zylinder als regelrechter Resonator verstärkend auf den Anblaseton $d^2 = 580$ und die nächstbenachbarten Töne. Von weiteren Stimmgabeln wurden folgende angewendet:

$c^1 = 258$ lässt die Oktave (c^2) verstärkt ertönen,
$g^1 = 387$ lässt den Grundtön verstärkt ertönen,
$c^2 = 516$ wird selbst stark verstärkt gehört,
$c^3 = 1034$ wird deutlich verstärkt,
$g^3 = 1600$ dicht darüber gehalten wird verstärkt,
$c^4 = 2000$ wird allenfalls eine kleine Spur verstärkt,
$es^4 = 2400$ lässt nichts von Verstärkung mehr erkennen,
$g^4 = 3200$ wird beim dichten Drüberhalten deutlich verstärkt,
$h^4 = 3800$ wird nicht verstärkt,
$c^5 = 4000$ zeigt nur bei unmittelbarer Annäherung (jedoch dann deutlich) Aufblitzen des Stimmgabeltones,
$es^5 = 4800$ wird deutlich verstärkt gehört.

2.

Ein zylindrisches Glasröhrchen von 10,8 cm Länge, 0,8 cm Durchmesser ergibt den Anblaseton $g^2 = 775$ Schwingungen.

Beim Aufsetzen von Stimmgabeln mit oder auch ohne Holzstäbchen auf den Glasboden des Zylinders werden die Stimmgabeln von $c^1 = 258$ an sicher bis $es^4 = 2400$ (Duodezime des Anblasetones) verstärkt.

$g^4 = 3200$ wird sicher noch spurweise verstärkt,
$h^4 = 3800$ wird nicht sicher verstärkt,
$c^5 = 4000$ wird wieder deutlich verstärkt,
$es^5 = 4800$ wird nicht sicher verstärkt.

Beim „Antönen" durch die Stimmgabeln ergibt sich:

$c^1 = 258$ wird nicht verstärkt,
$g^1 = 387$ gibt fast nur die Oktave,
$c^2 = 516$ wird schwach verstärkt,

$e^2 = 651$ wird sehr deutlich verstärkt,
$g^2 = 775$ erklingt als Eigenton am stärksten,
$b^2 = 921$ wird weniger verstärkt gehört,
$c^3 = 1034$ wird schwach, aber noch deutlich verstärkt,
$d^3 = 1200$ wird nicht verstärkt,
$g^3 = 1600$ „ „ „
$c^4 = 2000$ „ „ „
$es^4 = 2400$ wird schwach, aber deutlich verstärkt,
$g^4 = 3200$ wird manchmal spurweise verstärkt,
$h^4 = 3800$ bei grösster Annäherung recht deutlich verstärkt,
$es^5 = 4800$ höchstens spurweise verstärkt.

3.

Ein zylindrisches Glasröhrchen von 5 cm Länge, 1,5 cm Durchmesser ergibt angeblasen $fis^3 = 1463$ oder $gis^3 = 1642$, je nachdem der Spalt des anblasenden Glasröhrchens an den Rand oder mitten über die Öffnung des Zylinders gehalten wird.

Die direkt oder wieder durch Vermittlung des Holzstäbchens auf den Boden aufgesetzten Gabeln wurden erst von $c^4 = 2000$ abwärts ($es^4 = 2400$ öfters spurweise) an der Mündung deutlich gehört, dann aber alle Gabeln bis zu $c^1 = 258$ herunter deutlich verstärkt.

Beim „Antönen“ wird zur Vermeidung von Interferenzerscheinungen das zylindrische Röhrchen auf ein 23 cm langes Holzstäbchen gekittet und so auf einem Tisch aufrecht stehend befestigt. Dann werden von den Stimmgabeln nachstehende dicht über die Öffnung gehalten:

$c^1 = 258$ wird nicht verstärkt,
$g^1 = 387$ wird verstärkt,
$c^2 = 516$ lässt die Oktave verstärkt hören,
$e^2 = 651$ „ „ „ „ „
$g^2 = 775$ „ „ „ „ „

Von Stimmgabel $c^3 = 1000$ bis $c^4 = 2000$ beginnt die eigentliche Resonanzstrecke mit maximaler Verstärkung der Stimmgabel $g^3 = 1600$ als Eigenton des Cylinders.

$es^4 = 2400$ wird nicht oder nur ganz minimal verstärkt,
$g^4 = 3200$ (Oktave von $g^3 = 1600$!) wird minimal verstärkt.

Bei Gabeln über 3200 wird keine Spur Verstärkung mehr gehört.

4.

Ein Glaszylinderchen von 2,7 cm Länge, 1,7 cm Durchmesser ergibt den Anblaseton $fis^4 = 2926$.

Beim Aufsetzen direkt oder mittels Stäbchens auf den Glasboden wird $g^4 = 3200$ sehr deutlich verstärkt,

$h^4 = 3800$ wird weniger deutlich verstärkt,

$c^5 = 4000$ wird wieder deutlich verstärkt,

$es^5 = 4800$ zeigt zweifelhafte Verstärkung.

Nun wurde so viel Wachs in das Zylinderchen geschmolzen und somit dessen Länge verkürzt, dass der Eigenton auf $g^4 = 3200$ stieg.

Stimmgabel $g^4 = 3200$ wird äusserst deutlich verstärkt gehört. Selbst wenn die Stimmgabel in der Luft völlig abgeklungen erschien, wurde sie mehrmals bei leisem Aufsetzen auf die Wandung intensiv deutlich wieder gehört.

$h^4 = 3800$ wird deutlich verstärkt, } aber lange nicht in
$c^5 = 4000$ „ „ „ } dem Maße wie g^4,
$es^5 = 4800$ lässt eine Verstärkung fraglich erscheinen.

5.

Ein Glaszylinderchen von gleicher Grösse wie das vorige wurde mit Wachs so weit gefüllt, dass es den Anblaseton $b^4 = 3686$ ergab.

Beim Aufsetzen mittels Holzstäbchens wird die Stimmgabel

$g^4 = 3200$ sehr deutlich verstärkt,

$h^4 = 3800$ „ „ „

$c^5 = 4000$ „ „ „

$es^5 = 4800$ wird unsicher verstärkt, anscheinend wegen zu raschen Abklingens.

6.

Ein Glaszylinderchen von 1,5 cm Länge und 1 cm Durchmesser ergibt den Anblaseton $cis^5 = 4384$.

Beim Aufsetzen von Stimmgabeln auf den Glasboden mittels Holzstäbchens werden die Stimmgabeln

$c^1 = 258$ deutlichst verstärkt,

$g^1 = 387$ „ „

$e^2 = 651$ ebenfalls deutlichst verstärkt,

$c^3 = 1034$ „ „ „

$g^3 = 1600$ „ „ „

$c^4 = 2000$ „ „ „

$es^4 = 2400$ „ „ „

$g^4 = 3200$ „ „ „

$h^4 = 3800$ wird weniger deutlich verstärkt,
$c^5 = 4000$ wieder sehr deutlich verstärkt,
$es^5 = 4800$ auch sehr deutlich verstärkt.

Beim Antönen wird von den Stimmgabeln $c^1 = 258$ bis $g^3 = 1600$ nichts von eigentlicher Resonanz wahrgenommen. Man hört wohl Intensitätsschwankungen der höheren Gabeln, wenn sie von oben oder seitwärts her an und über die Mündung des Zylinders geführt we den. Diese gehören aber jedenfalls zu jenen Intensitätsschwankungen der Stimmgabeln, welche ebenso bei Annäherung an eine solide Fläche oder Kante gehört werden und mit Resonanz nichts zu tun haben.

Beim Drüberhalten der Gabel $c^4 = 2000$ „blitzt" bei grosser Annäherung an die Mündung eine zweifellose Verstärkung der Oktave, die gleich dem Anblaseton ist, auf. Bei der Gabel $es^4 = 2400$ schien dieses Aufblitzen ein einziges Mal ebenso vorhanden zu sein.

Bei $g^4 = 3200$ wurde dieses Aufblitzen nicht bemerkt,
„ $h^4 = 3800$ wurde nur einige Male Aufblitzen beobachtet,
„ $c^5 = 4000$ ist das Aufblitzen sehr deutlich und regelmässig,
„ $es^5 = 4800$ ist das Aufblitzen undeutlich, aber wohl vorhanden.

Der Nachweis, dass so kleine Räume noch als Resonatoren wirken, ist durch Drüberhalten von Stimmgabeln nicht ganz leicht zu führen, weil bei solchen hohen Stimmgabeln durch Annähern und Entfernen von einer Fläche unkontrollierbare Intensitätsschwankungen hervorgerufen werden. Trotzdem das kleine Gefäss auf einem dünnen Holzstab von 23 cm Länge gekittet, senkrecht über dem Tisch befestigt ist, gibt die Stimmgabel $c^5 = 4000$ beim Herabsenken auf das Gefäss in Höhe einiger Zentimeter stossartige Interferenzerscheinungen, offenbar an der Rückwand des Gefässes; denn die Erscheinung findet auch statt, wenn man ein Deckgläschen auf das Gefäss oben drauf legt und dann die Gabel nähert. Wenn dagegen die Gabel 4000 die Öffnung des Gefässes fast bis zur Berührung deckt, also etwa in der Höhe von $\frac{1}{2}$ mm über das Gefäss gehalten wird, so blitzt der Ton plötzlich auf: dies scheint der Eigenton des Luftraumes zu sein. Dafür spricht auch, dass diese Erscheinung bei der Stimmgabel von 4000 stärker ist als bei benachbarten Gabeln und andererseits bei der Gabel 4000 selbst in Fortfall kommt, wenn man sie über eine längere Röhre von gleichem Durchmesser hält, oder in gleicher Entfernung über eine solide Fläche.

Resumé.

Als Resultat aus den Versuchen über die Resonanz einseitig gedeckter Glasröhrchen ergibt sich im ganzen Folgendes:

Beim Aufsetzen der Stimmgabeln auf den Glasboden direkt oder durch Vermittlung des 23 cm langen Holzstäbchens werden bei sämtlichen Zylindern alle Töne von $c^1 = 258$ bis $g^4 = 3200$ verstärkt, von $c^4 = 2000$ aufwärts allerdings nur schwach. Am meisten verstärkt wird, wie zu erwarten, die Gegend des Anblasetones = Eigentones des betreffenden Röhrchens. Ist dieses Röhrchen so kurz, dass der Resonanzton über 3200 liegt, so geht auch die Verstärkung über 3200 hinaus.

Bei reiner Luftleitung „(Antönen") wird nur der Resonanzton und dessen nächste Umgebung (Resonanzbreite) verstärkt; von tieferen Tönen sind nur solche wirksam, deren Obertöne in die Resonanzbreite fallen und zwar wird dann eben dieser Oberton der Gabel als Grundton des Glaszylinders verstärkt, nicht aber etwa der Gabelgrundton. Töne oberhalb der Resonanzbreite werden nur verstärkt, sofern sie Obertöne des Verstärkungsgebietes sind, entsprechend dem Umstande, dass sowohl kuglige als auch zylindrische Resonatoren die harmonischen Obertöne, gradzahlige und ungradzahlige, des Grundtones mit verstärken[1]).

Versuche an Hohlräumen des Gesichtsschädels.

Um nun auch über die Resonanzverhältnisse der Hohlräume des Gesichtsschädels selbst einigen Aufschluss zu bekommen, wurden noch folgende Versuche angestellt.

Ein vom Rumpf abgetrennter, in Formalin fixierter Schädel einer weiblichen Leiche wurde nach Entfernung der Weichteile und der knöchernen Schädeldecke sowie Herausnahme des Gehirns in der üblichen Weise median durchsägt und sodann noch die Weichteile des Gesichts entfernt. Zur genaueren Untersuchung wählten wir von den Nebenhöhlen die Oberkieferhöhle, da diese wegen ihrer Grösse und leichteren Zugänglichkeit die besten Aussichten für unsere akustischen Versuche bot. Es wurde also die natürliche Öffnung der Oberkieferhöhle unter der mittleren Muschel freigelegt, störende Knochensplitter abgetragen und die Ränder der Öffnung zwecks besseren Anblasens geglättet, wodurch diese allerdings ein wenig von ihrer ursprünglichen Gestalt einbüsste. Das Anblasen

[1]) Vergl. *Schaefer*, Ein kontinuierlicher Resonatorenapparat. Passow-Schaefer, Beiträge. Bd. III. 1909. S. 149.

geschah wiederum mittels Blasebalges und eines Röhrchens von Glas, dessen freies Ende eine spaltförmige Öffnung von 1 cm Länge und 1 mm Breite aufwies. Der Spalt wurde dicht an die Öffnung der Oberkieferhöhle gehalten und durch den Luftstrom die Luftmasse in diesem Hohlraum zum Tönen gebracht. Beim Anblasen von Hohlräumen, namentlich von solchen im Schädel, muss man sich sehr sorgfältig hüten, dass man nicht etwa statt des Hohlraumtones einen „Schneidenton" bekommt. Der Resonanzton des Hohlraumes ist deshalb möglichst durch Aufsetzen von Stimmgabeln oder „Antönen" zu kontrollieren.

Die auf die beschriebene Art freigelegte und künstlich erweiterte Öffnung der linken Oberkieferhöhle hatte eine Länge von 1 cm, eine Breite von ½ cm und die Höhle selbst ein ca. 17 ccm Wasser fassendes Volumen. Mit mässigem Druck angeblasen, ergab sich als Höhlenton a^2, wohl der Grundton, nach der Grösse der Oberkieferhöhle zu urteilen, soweit sie von der Öffnung aus übersehen werden konnte. Daneben liessen sich noch höhere, nicht bestimmbare Töne, vermutlich Schneidentöne vernehmen. Die auf gleiche Art präparierte rechte Kieferhöhle zeigte fast dieselben Dimensionen der Öffnung und gleichen Kubikinhalt. Ebenso angeblasen, resultierten die Töne g^2, gis^2, a^2, b^2, je nach der Stellung des Anblasespaltes, ob derselbe parallel oder senkrecht zur Längsausdehnung der Kieferhöhlenöffnung gerichtet war.

Die Maße der Öffnung der Kieferhöhle einer anderen, schon etwas getrockneten Schädelhälfte betrugen in der Längsrichtung 1,3 cm, in der Querrichtung 0,4 cm. Dabei war die Öffnung im hinteren Teil der Längsrichtung durch eine 4 mm lange Membran mit stecknadelkopfgrosser Perforationsöffnung bedeckt. Die Öffnung wurde sodann in der Länge auf 1,4 cm erweitert. Durch Anblasen liessen sich a^2, b^2 und h^2 feststellen, je nach geringen Verschiebungen des Anblasespaltes in der Längsrichtung. Die Öffnung der Kieferhöhle eines weiteren Halbschädels, in der Breite auf 1 cm erweitert, bei einer gleichen Länge von 1 cm, ergab angeblasen den Ton c^3. Auf 2 cm verlängert, bei gleichbeibender Breite von 1 cm, resultierte als Anblaseton der Höhle f^3. Bei Verbreiterung der Öffnung auf 1½ cm und gleichbleibender Länge von 2 cm, stieg der Anblaseton auf a^3. Hiernach und nach unseren früheren Betrachtungen über den Einfluss der Grösse der Öffnung auf die Resonanz eines Hohlraumes muss andererseits der Eigenton der vorgenannten Oberkieferhöhlen bei engerer Öffnung, wie sie am

Lebenden infolge der sukkulenten Schleimhaut vorhanden ist, sich vertiefen.

Das Anblasen der übrigen, kleineren Nebenhöhlen der Nase ist mit grossen Schwierigkeiten verknüpft. Einmal ist es nicht immer leicht, ihre natürliche, äusserst kleine Offnung in ihrer versteckten Lage zu finden und ohne Verletzung der Höhlen selbst so freizulegen, dass man genügend Spielraum zum Anblasen der einzelnen Höhlen gewinnt. Andererseits muss die Möglichkeit, überhaupt durch solche kleinste Öffnungen Hohlräume mittels Anblasens zum Tönen zu bringen, in Frage gestellt werden. Grob experimentell fand sich bei einer leidlich freigelegten und sonst scheinbar unverletzten Stirnhöhle als Anblaseton d^4 und bei einer anderen f^4.

Schätzungsweise liess sich für die Keilbeinhöhle und die einzelnen Stirnbeinhöhlen der Eigenton durchschnittlich in die viergestrichene Oktave verlegen. Zu exakten Versuchen wäre ein grosses Leichenmaterial nötig, um jede Höhle einzeln ohne Verletzung der anderen einwandfrei akustisch untersuchen zu können. Wegen der wechselnden Grössenverhältnisse des Volumens und der Öffnungen würden aber die Eigentöne stets entsprechend verschieden ausfallen. Im Hinblick auf den geringen praktischen Wert, der sich auch aus den folgenden Erwägungen herausstellen wird, wurde deshalb von weiteren Versuchen Abstand genommen.

Nur zu einer kurzen Orientierung wurden mit einer der vorgenannten Oberkieferhöhlen (Öffnung: 1 cm Länge, ½ cm Breite; Anblaseton: a^2) noch folgende Versuche vorgenommen. Es wurden verschieden hohe Stimmgabeln aussen, d. h. an der Gesichtsfläche auf den Oberkieferknochen gesetzt und dabei wie bei den Versuchen von *Claus*[1]) ein mittels Gummischlauchs und Olive mit dem Ohr verbundenes Kapillarröhrchen abwechselnd über den Hohlraum der Oberkieferhöhle und über festere Knochenpartien gehalten.

Stimmgabel b^2 wurde laut über der Höhlenöffnung gehört, schwächer über dem soliden Knochen (ohne Periost). Bei c^3 war der Unterschied geringer, noch geringer bei d^3 und g^3. Beim Aufsetzen der Stimmgabel es^4 wurde keine Verstärkung mehr weder vom Hohlraum noch vom Knochen wahrgenommen, ganz entsprechend den Ergebnissen der Versuche von *Claus*. Von tieferen Stimmgabeln wurden Gabeln bis c^1 aufgesetzt. Bei allen ergab sich, dass der Ton aus der Oberkieferhöhle herausklang und zwar stärker als aus dem soliden Knochen.

[1]) *H. Claus*, Über die physiologische Form des Weberschen Versuches. Passow-Schaefer, Beiträge. Bd. II. 1909. S. 463.

Vom „Antönen" der Oberkieferhöhle durch Stimmgabeln konnte abgesehen werden, da das abgestimmte Luftvolumen des Hohlraumes dieselben Resultate ergeben musste, wie wir sie bei den Glaszylindern gefunden. Zum anderen lässt sich nach Obigem die Öffnung der Oberkieferhöhle nicht so isolieren, dass man störende Mitwirkungen von den umliegenden Knochenpartien bei genäherten Stimmgabelzinken mit Sicherheit ausschliessen könnte.

In Anwendung der gefundenen Tatsachen auf die Resonanz der Nebenhöhlen der Nase in ihrer Beziehung zur Stimme dürfte vom physikalischen Standpunkt aus zu folgern sein:

I. Vorausgesetzt, dass der beim Singen aus der Trachea herauskommende Luftstrom noch anblasend auf einzelne Nebenhöhlen der Nase wirken könnte, würde jeder Hohlraum seinen Eigenton dem Klange der Stimme beifügen können.

II. Jeder Hohlraum könnte durch die Tonwellen des Stimmklangs, also durch „Antönen", erregt, auch aus dem gesamten Klange seinen Eigenton als regelrechter Resonator herausnehmen und verstärken, falls dieser Eigenton im Klange vorhanden ist.

III. Sollten die beim Sprechen und Singen auftretenden Erschütterungen der Kopfknochen einige oder alle Teiltöne des gesungenen Klanges enthalten und imstande sein, diese Vibrationen den in den Nebenhöhlen eingeschlossenen Luftmassen in ausreichender Stärke mitzuteilen und diese so in tönende Schwingungen zu versetzen, so könnte bis aufwärts in die viergestrichene Oktave und eventuell bei entsprechender Kleinheit des Hohlraumes noch höher hinauf jeder dieser Töne in jedem Hohlraum verstärkt werden.

Wie verhalten sich nun die Nebenhöhlen der Nase und die Nasenhöhle selbst gegenüber den soeben angenommenen Möglichkeiten?

I.

Beim Anblasen wäre zunächst Voraussetzung, dass ein gleichmässiger, bandförmiger Luftstrom von einer bestimmten Stärke — ein schwacher, ungleichmässiger Luftstrom ruft nur Geräusche hervor — an den Öffnungen der Nebenhöhlen auf seinem Wege durch die Nasenhöhlen vorbeistreichen könnte. Ausser der Grösse dieser Öffnungen wäre ihre Lage zur Richtung des passierenden und anblasenden Luftstromes von ausschlaggebender Bedeutung.

Über den Weg der Atmungsluft durch die Nase sind zahlreiche experimentelle Untersuchungen (von *Paulsen*, *Kaiser*, *Franke*, *Zwaardemaaker* u. A.) teils an anatomischen oder an nachgebildeten künstlichen Präparaten, teils an Lebenden, die durch Operationen besonders günstige Bedingungen boten, angestellt worden. Dabei ergab sich, dass der Luftstrom in seiner Hauptmasse bei der Inspiration und mit geringer Abänderung in umgekehrter Richtung auch bei der Expiration auf jeder Seite zwischen den beiden oberen Muscheln und dem Nasenseptum, zum Teil auch durch den hintersten Abschnitt des mittleren Nasenganges in bogenförmiger Richtung streicht. Der Luftaustausch zwischen den Nebenhöhlen und der Nasenhöhle bewegt sich nur innerhalb enger Grenzen, je nach der Grösse der Öffnungen; Druckunterschiede kommen bei der Inspiration in negativem, bei der Exspiration in positivem Sinne zustande. Alles in allem geht aus jenen Versuchen hervor, dass der zum Anblasen nötige Luftstrom die in den mittleren und oberen Nasengängen mündenden Öffnungen der Nebenhöhlen nicht in genügender Stärke treffen kann, wozu noch erschwerend ins Gewicht fällt die Kleinheit und versteckte Lage jener Öffnungen, eventuell noch mit engem und gewundenem Ausführungsgang, so dass sie nur von Teilströmen oder Luftwirbeln getroffen werden könnten. Ferner würde nur bei manchen Lauten, bei denen eine genügend grosse Kommunikation zwischen Mundhöhle und Nasenräumen besteht, ein permanenter Luftstrom und dann auch nur ein Bruchteil beim Singen und Sprechen durch die Nasenhöhlen sich verbreiten können. Noch mancherlei liesse sich gegen die Möglichkeit des Anblasens der Nebenhöhlen ins Feld führen. Durch den einfachen Versuch kann man sich aber schon jederzeit überzeugen, dass kein noch so starker durch die Nase gejagter Luftstrom auch nur spurweise einen Ton den Nebenhöhlen zu entlocken vermag.

II.

Nicht viel günstiger steht es mit dem „Antönen" seitens der durch die Luft fortgeleitetenTonwellen des im Kehlkopf erzeugten Stimmtons. Von vornherein zu beachten ist, dass Luft-„strom" und Ton-„strom" nicht identisch sind, wie man denn überhaupt von einem Ton-„strom" im eigentlichen Sinne nicht sprechen darf, sondern nur von Ton-„wellen". Da falsche Vorstellungen über das Verhältnis von Luftstrom und Tonwellen in der fachmännischen Literatur, besonders aber in der Gesangspädagogik, eine verhäng-

nisvolle Rolle spielen, so sei es gestattet, hier an einige Tatsachen aus der Wellenlehre, soweit sie für unsere Zwecke in Betracht kommen, zu erinnern.

Wirft man einen Stein auf eine ruhende Wasserfläche, so breiten sich von dem Erschütterungspunkte kreisförmige Wellen aus, die rasch fortschreitend den Eindruck erwecken, als befände sich die ganze Wasseroberfläche in einer fliessenden Bewegung. Ein leichter Körper z. B. ein Kork, der auf der Wasserfläche schwimmt, wird indess von den Wellen nur gehoben und gesenkt, jedoch ohne wesentliche Fortbewegung. Demnach ist auch die Wassermasse als Ganzes nicht in fortschreitender Bewegung, sondern es tritt nur eine abwechselnde Hebung und Senkung der einzelnen Wasserteilchen ein, die dabei kleine Kreisbahnen beschreiben, aber immer wieder an ihren Ausgangspunkt zurückkommen. Ähnlicher Art sind auch die Vorgänge bei der Wellenbewegung eines Ährenfeldes; die Träger der Bewegung, die Halme, vom Winde aus ihrer Gleichgewichtslage gebracht, schwingen hin und her, nach ihrer Ruhelage strebend, bleiben aber an Ort und Stelle. Bei einem ruhig dahinfliessenden Wasser können wir mit einigen Modifikationen auch beobachten, dass die Wasserwellen, unabhängig vom Wasserstrome sich kreisförmig ausbreitend ihren gesetzmässigen Verlauf nehmen. Vergleichen wir nun den Wasserstrom mit dem Luftstrom und die Wasserwellen mit den Tonwellen, erstere durch Wind oder einen Gegenstand, letztere durch periodische Erschütterungen der Luft erzeugt, so dürfte das Folgende leichter verständlich werden. Wie bei einem angenommenen engen Strombett und einer dauernden Erregung, Verhältnisse, wie wir sie ja bei dem menschlichen Ansatzrohr und der Singstimme antreffen, müssen sich innerhalb des Ansatzrohres auch stehende Tonwellen in Form von Verdichtungs- und Verdünnungswellen bilden, die sich der Aussenwelt als fortschreitende Tonwellenbewegung mitteilen, wobei ein Luftteilchen die erhaltene Bewegung auf das andere überträgt und dann wieder zur Gleichgewichtslage zurückkehrt (vergl. den Halm des Ährenfeldes). Wenden wir uns jetzt wieder zu den Nebenhöhlen der Nase, so breiten sich die Tonwellen bekanntlich von dem Erregungszentrum, in unserem Falle von den Stimmlippen, nach allen Seiten hin aus und würden nun auch, durch den bei den einzelnen Lauten verschieden grossen Spalt des Nasenrachenraumverschlusses in die Nasenhöhlen fortschreitend, die Öffnungen der Nebenhöhlen treffen und so gewissermassen durch „Antönen“ die eingeschlossene Luft in klangverstärkende Resonanzschwingungen versetzen können.

Grützner[1]) steht offenbar auf diesem Standpunkt: „In ihnen (gemeint sind Nasenhöhlen mit Nebenhöhlen) und so gut wie in ihnen allein findet jetzt die Resonanz statt, die infolge der Kleinheit jener Höhlen und ihrer festen elastischen Wände natürlich die Verstärkung der höheren Obertöne begünstigt."

Entsprechend den mit den Glaszylindern bei Luftleitung („Antönen") gefundenen Tatsachen würden wir zu erwarten haben, dass nur der Eigenton des Hohlraumes und dessen Resonanzbreite verstärkt werden, bei tieferen Grundtönen des Stimmklanges also nur deren in die Resonanzbreite des Hohlraumes fallende Obertöne. Die versteckte Lage der Mündungen der Nebenhöhlen und vor allem ihre geringe Grösse, die sich bei katarrhalischen Zuständen noch vermindert, so dass praktisch genommen die Nebenhöhlen zum in sich geschlossenen Resonator werden, zu dem also die Tonwellen keinen Zutritt haben würden, lassen auch die Annahme, die Nebenhöhlen könnten als regelrechter Resonator aus dem Gesamtklange Töne herausheben und verstärken, im höchsten Grade unwahrscheinlich werden. Dem entspricht auch die klinische Erfahrung, dass bei Vereiterung der Nebenhöhlen keine Ausfallserscheinungen oder Beeinträchtigungen der Stimme oder Sprache eintreten, die nicht in anderen Verhältnissen (z. B. Einengung der Nasenhöhle durch die stark geschwollene Schleimhaut) ihren Grund hätten.

III.

Was nun endlich die beim Singen und Sprechen auftretenden Erschütterungen der Knochen und Weichteile des Schädels und ihren angenommenen resonatorischen Einfluss auf die Nebenhöhlen der Nase anlangt, so ist es notwendig, sie zum Gegenstand einer eingehenden Untersuchung zu machen. Zunächst erhebt sich die Frage nach ihrer Entstehung, ob sie in ursächlicher Beziehung zu dem Stimmklang stehen oder nur Folgeerscheinungen des letzteren sind. Zur Beantwortung dieser hochwichtigen Frage bedarf es wiederum eines kleinen Exkurses in die Akustik und Physiologie der Stimme.

Der Stimmklang kommt dadurch zustande, dass der Exspirationsstrom den Verschluss der in der Ruhe aneinander liegenden Stimmlippen sprengt, die ihrerseits einmal lateralwärts aus ihrer Gleichgewichtslage gedrängt, kraft ihrer Elastizität und der durch

[1]) *P. Grützner*. Physiologie der Stimme und Sprache in Hermanns Handbuch der Physiologie. 1879. Bd. 1.

die Muskulatur bedingten Einstellung und Spannung sofort medianwärts zurückschnellen [1]). Durch rasche Wiederholung entsteht eine periodisch wiederkehrende Lufterschütterung, die sich in einem System von Tonschwingungen kund gibt. Es ist ungefähr ein ähnlicher Vorgang wie bei dem Rade einer Wassermühle. Der zugeleitete Wasserstrom wird hier durch die einzelnen Schaufeln momentweise unterbrochen, strömt aber in kontinuierlichem Fluss sofort weiter. An der Oberfläche des Wassers entstehen Wasserwellen, die unabhängig, wie schon früher erläutert, ihre Ausbreitung suchen. Die Tonwellen sind natürlich viel komplizierter, wie wohl nicht weiter auseinandergesetzt zu werden braucht, die Geschwindigkeit der Unterbrechung des Luftstromes ausserordentlich viel grösser. Wird beispielsweise der Luftstrom 435 mal in der Sekunde durch die federnden Stimmlippen unterbrochen, so entsteht ein Klanggebilde, das in unserem Gehörorgan und weiterhin im Gehirn als der Kammerton a^1 zum Bewusstsein kommt. Die periodischen Luftstösse sind es also, von der sich die Stimme herleitet, nicht tönende Stimmbänder. Letzterer Auffassung begegnet man ja auch heute noch häufig genug, obwohl sie schon *Liscovius* vor zirka hundert Jahren widerlegte mit folgenden schlichten Sätzen [2]): „Die Stimmbänder sind viel zu klein, als dass man ihnen diese Stärke zutrauen könnte, welche unsere Stimme besitzt. Denn vergleicht man bei anderen Saiten ihre Grösse mit der Stärke ihres Tones, so muss man gestehen, dass die geringe Grösse der Stimmbänder mit der Stärke unserer Stimme in keinem Verhältnis steht." Nach *Helmholtz* haben ausser-

[1]) *Musehold*, Arch. f. Laryngologie u. Rhinologie. Bd. VII. 1898.

Anmerkung: Der Vergessenheit entrissen zu werden verdient die erste ausführlichere in der Literatur erwähnte Beschreibung über Stimmbildung am Lebenden von dem Greifswalder Professor *L. Mende*. (*L. Mende:* Von der Bewegung der Stimmritze beim Atemholen. Greifswald 1816. Referiert von *P. Strübing* in Monatsschr. f. Ohrenheilk. 1887.) An einem Selbstmörder, der durch einen Querschnitt den Kehlkopf ohne jegliche Verletzung grösserer Gefässe bloss gelegt hatte, fand *Mende* Gelegenheit, die Bewegungen der Stimmritze beim Atmen und Sprechen zu verfolgen, indem er den Patienten bei offenem Munde zum Sprechen zu bewegen suchte. „Beim Sprechen geriet die Stimmritze in zitternde Bewegung, und es kam ein röchelnder und schwacher T o n — aber eben nur ein T o n — zustande. Erst als die Wundränder aufeinandergedrückt und somit der Luftaustritt durch die Wunde verhindert war, konnte der Patient eine A n t w o r t geben, jetzt erst konnte er s p r e c h e n."

[2]) *Liscovius*, Theorie der Stimme. 1814.

dem freischwingende Zungen der Blasinstrumente (als welche diese kleinen Stimmlippen mit einer Länge von ca. 1—1½ cm gelten müssen) eine viel zu kleine Oberfläche, um irgend eine in Betracht kommende Quantität von Schallbewegungen an die Luft abgeben zu können. Der Schall entsteht vielmehr ganz so wie bei der *Seebeck*schen Sirene, deren Metallscheibe gar keine Schallschwingung ausführt, nur durch die Zerlegung des durchgetriebenen Luftstromes in Luftstösse.

Gleichgültig nun, ob tönend oder nicht tönend, müssten doch die Stimmlippen, an ihren Befestigungspunkten gewissermassen zerrend, ihre periodischen Bewegungen dem Knorpelgerüst des Kehlkopfes und den Weichteilen des Halses mitteilen, von denen sie weiter nach den Knochen und Weichteilen des Schädels geleitet würden. Dass nun bei solcher Fortleitung die Tonhöhe dieselbe bleibt, Tonstärke und Klangfarbe aber mit Rücksicht auf die verschiedenen Widerstände und Schallleitungsverhältnisse der einzelnen Knochen und Weichteilpartien nicht unverändert bleiben können, ist wohl unzweifelhaft.

Mit grösster Wahrscheinlichkeit jedoch haben die in Rede stehenden Erschütterungen des Schädels eine andere Entstehungsart als die soeben angedeutete.

Hatte schon *Harless*[1]) den Ton einer freischwingenden, ½ Zoll über die Sella turcica eines aufgesägten Leichenschädels gehaltenen Stimmgabel sehr deutlich aus dem auf den Meatus auditorius aufgesetzten Stethoskop wahrgenommen, so brachte *Mader*[2]) mittels eines äusserst komplizierten, nach dem Prinzip des Mikrophons gebauten Instrumentes, des sogenannten Otomikrophons, einen exakteren experimentellen Nachweis, dass mässige und selbst relativ sehr geringe Schallmengen auf die Schädelknochen übergehen. Setzte er einen Stift aus Hartgummi, der auf der Kohlenplatte des Mikrophons befestigt war, auf die blossgelegte Glabella eines Menschenschädels, dessen Schädeldach und Gehirn entfernt war, und sprach er dann gegen das Hinterhaupt oder liess daselbst eine Stimmgabel ertönen, so verstand ein, in einem entfernten Zimmer befindlicher Beobachter mittelst des mit jenem Stift durch Leitungsdrähte verbundenen Abgabetelephons die ge-

---

[1]) *E. Harless*, Hören, in Wagners Handwörterbuch der Physiologie. 1853. Bd. 4.

[2]) *L. Mader*, Mikrophonische Studien am Schallleitungsapparat des menschlichen Gehörorgans. Sitzungsber. d. math. naturw. Klasse d. Kais. Akademie d. Wissensch. Wien. 1900. Bd. 109. Abt. III.

sprochenen Worte und hörte ebenso den Stimmgabelton. Hob *Mader* den Stift von der Glabella ab, so waren aus der gleichen Entfernung von den Worten nur noch Spuren, vom Ton gar nichts mehr zu hören. Noch eindringlicher ist der Versuch, den *Mader* mit sehr schwachen Schallquellen unternahm. Vor dem Gehörgange der einen Schädelseite wurde eine Stimmgabel aufgestellt, auf welche aus geringer Höhe ein Schrotkorn von 0,13 g Gewicht herunterfiel. Der hierdurch erzeugte Ton war so leise, dass er von dem Danebenstehenden nur gehört werden konnte, wenn er das Ohr ganz nahe an die Gabel heranbrachte. Wurde nun der Stift des Otomikrophons an das Schläfenbein der anderen Seite angesetzt, so hörte man deutlich wieder am Abgabetelephon den Stimmgabelton. Zu beachten ist hier bei diesen Versuchen, dass das Mikrophon natürlich in hohem Masse die von der Gabel oder vom Stimmklang auf die Schädelknochen übertragenen Schallschwingungen verstärkt.

Hatten wir es soeben mit fortschreitenden Tonwellen im Raum zu tun, die auf die Kopfknochen übergingen, so können wir uns an den Blasinstrumenten und Pfeifen durch Betasten davon überzeugen, dass auch stehende Schallwellen eines lufterfüllten Körpers dessen feste Wandungen je nach dem Material in stärkerem oder geringerem Grade in Erschütterungen versetzen können, sobald sie diese in einer grösseren Fläche berühren[1]).

So werden wir kaum fehlgehen in der Annahme, dass die stehenden kräftigen Tonschwingungen der menschlichen Stimme die Wandungen des Ansatzrohres in Vibration versetzen, und dass somit die Erschütterungen der Knochen und Weichteile des Schädels als Folgeerscheinungen des Stimmklanges anzusprechen sind.

Ein fundamentaler Irrtum, der in der einschlägigen, wissenschaftlichen und nichtwissenschaftlichen, älteren und neueren Literatur weit verbreitet ist und meist kritiklos in blindem Autoritätsglauben übernommen wurde, ist nun der, diese Erschütterungen der Schädelknochen gleich zu setzen einer Resonanz der

[1]) *Anmerkung*: Z. B. schwingen die Wandungen eines auf c^0 abgestimmten kugelförmigen Resonators, wenn man diesen vor die Maulöffnung einer tönenden gleich gestimmten Lippenpfeife bringt, so stark mit, dass man mit der den Resonator haltenden Hand diese Erschütterung als äusserst kräftig wahrnimmt. Auch höher gestimmte Resonatoren zeigen fühlbares Schwirren ihrer Wandungen, wenn auch je nach Form und Festigkeit des Materials in verschiedenem Grade.

Kopfknochen (und ebenso die Erschütterung der Brustwandungen einer Resonanz des Thorax) nach Art eines Resonanzkastens der Saiteninstrumente.

So spricht *Brücke*[1]) von der starken Resonanz der Kopfknochen bei einzelnen Vokalen.

Passavant[2]) schreibt: „Dass bei der Sprache die Nasenhöhlen als Resonanzkasten wirken, geht aus physikalischen Gesetzen hervor."

Merkel[3]) behauptet: „Es müssen die zwischen den Stimmbändern erzeugten Töne verstärkt werden, teils durch Mittönen der Luft und der Wände der Ansatzhöhlen."

E. Barth[4]) meint: „Von der verstärkten Resonanz der Kopfknochen kann man sich überzeugen, indem man die flache Hand auf den Schädel legt und der Reihe nach die verschiedenen Vokallaute ausspricht."

Zitate dieser Art liessen sich besonders aus den Gesangskreisen beliebig vermehren. In kühner Phantasie malten sich andere aus, Nasenhöhle und Nebenhöhlen bildeten in ihrer Gesamtheit mit ihren Wandungen einen grossen Resonanzkasten, bei dem die Nasenöffnungen die *f*-Löcher (der Streichinstrumente) ersetzten.

Jene Ansichten fussen wohl noch auf *Ferreins*[5]) Hypothesen aus dem 18. Jahrhundert, nach welchen die Stimmbänder nach Art der Saiten als „Stimmsaiten" selbsttönend schwingen und dies nur mit geringer Stärke, weshalb man noch einen Resonanzkasten zur Verstärkung der Stimme für unumgänglich notwendig hielt.

Fassen wir die Wirkungen eines Resonanzkastens ins Auge, so stellt derselbe eine enorme Vermehrung der Oberfläche der Saite dar, deren Schwingungen sich durch Steg, Stimmstock, Wirbel etc. auf den Resonanzkasten übertragen, und damit eine unverhältnismässig grosse Quantität von Schall an die umgebende äussere Luft abgeben können. Ausserdem setzen die elastischen Holzplatten die von ihnen eingeschlossene Luftmasse in Schwingungen im Sinne einer kontinuierlichen Resonanz, d. h. die Resonanzräume der einzelnen Gattungen der Saiteninstrumente sind von solcher Grösse und Gestalt, dass sie mehr oder weniger auf

---

[1]) *Brücke*, Grundzüge der Physiologie der Sprachlaute. 1856.

[2]) *Passavant*, Über die Verschliessung des Schlundes beim Sprechen. 1863.

[3]) *Merkel*, Der Kehlkopf. 2. Aufl. 1896.

[4]) *E. Barth*, Arch. f. Rhinologie u. Laryngologie. Bd. XIX. 1907.

[5]) *Ferrein*, Mémoires de l'académie des sciences. 1741.

alle bei den Instrumenten in Betracht kommenden Tönen resonieren [1]).

Bei einer gewissen Versuchsanordnung sind allerdings auch die Schädelknochen befähigt, nach Art eines Resonanzkastens zu wirken. Setzt man nämliche Stimmgabeln auf eine isolierte Schädeldecke (frisch oder getrocknet), so erklingen diese Gabeln deutlich verstärkt, indem die Kopfknochen die von den Stimmgabeln erzeugten und mitgeteilten Schwingungen an die umgebende Luft abgeben. Tiefere Stimmgabeln, fest auf das Schädeldach des Lebenden gesetzt, werden von einer anderen Person ganz dicht am Kopfe ebenfalls etwas lauter gehört als die Stimmgabeln in der Luft. In weiterer Entfernung ist in letzterem Falle allerdings nichts von einer Verstärkung des Gabeltons zu hören. Diese Versuchsbedingungen treffen jedoch bei einem menschlichen Stimmorgan, wie noch später zu erläutern, nicht zu. Es sind deshalb scharf auseinanderzuhalten die durch Saiten oder Stimmgabeln und deren Oberflächenvergrösserung mittelst elastischer Platten hervorgerufenen (also erst sekundär der Luft mitgeteilten) Schallwellen und die primär in der Luft durch Unterbrechung eines Luftstromes oder Anblasen eines Hohlraumes entstandenen Tonwellen der Blasinstrumente und der menschlichen Stimme.

Als oberster Grundsatz der Schallleitung und weiterhin der Resonanz gilt nämlich der, dass sich unter allen Bedingungen der Schall am besten in dem Medium fortpflanzt, bezw. verstärkt, in welchem er erzeugt worden ist. Deshalb verstärkt und pflanzt sich der in festen Körpern erzeugte Schall am besten in festen Körpern fort, der in der Luft erzeugte am besten in der Luft selbst, da bei dem Übergang von einem Medium ins andere durch Reflexion viel Schall für das andere Medium verloren geht. So wird auch von den Schallwellen des Ansatzrohres nur ein verhältnismässig geringer Bruchteil in Form von Erschütterungen auf die Wände desselben übergehen können. Es würde weiterhin bei der Abgabe dieser Erschütterungen wieder an die Luft des freien Raumes oder der von den Schädelknochen eingeschlossenen lufthaltigen Hohlräume eine erneute Verminderung stattfinden müssen. Ausserdem ist in Erwägung zu ziehen, dass die den Resonanzkästen der Saiteninstrumente eigene gleichmässige Elastizität, die Vorbedingung einer „festen" Resonanz, den mit Weichteilen beschwerten, un-

---

[1]) *Auerbach*, Akustik in Winkelmanns Handbuch d. Physik. 1909. II. Bd.

gleichmässig geformten und dicken Schädelknochen abgeht. Daraus folgt, dass den Erschütterungen der Schädelknochen keinerlei wesentliche und somit praktische Bedeutung als verstärkende Faktoren der menschlichen Stimme und Sprache beizumessen ist, sondern dass sie nur Folgeerscheinungen jener und als solche kaum befähigt sind, die Hohlräume des Gesichtsschädels als Resonatoren in tönende Schwingungen zu versetzen (wie etwa die auf einen Resonator aufgesetzte Stimmgabel).

Ebensowenig wie eine Klangverstärkung können die Weichteile und Knochen des Schädels lediglich durch ihre Erschütteteungen eine Veränderung der Klangfarbe [1]) der Stimme hervorrufen. Wohl aber hat die Spannung und Elastizität der Wände des Ansatzrohres einen erheblichen Einfluss auf die Klangwirkung durch Begünstigung von Obertönen. Wir sehen bei den Musikinstrumenten, dass die Blasinstrumente aus Holz (Flöten, Klarinetten etc.) im allgemeinen ein weiches Timbre, die Instrumente mit Metallwandungen, die „Blechinstrumente", einen ehernen und schmetternden Klang besitzen. Noch stärker tritt der Einfluss der Beschaffenheit der Wandungen auf die Klangfarbe bei den Flöten aus Metall und Holz zutage. Wie weit jedoch diese Tatsache in der Gesangspädagogik sich praktisch verwertbar gestalten würde, ist allerdings eine andere Frage und vorläufig nicht ohne weiteres zu beantworten. In der mit steigender Tonhöhe und Tonstärke zunehmenden starken Spannung der muskulösen Wände des Ansatzrohres haben wir vielleicht schon an und für sich ein für die hohen Töne vorteilhaftes Moment zu erblicken, ebenso vielleicht bei der durch gute Vokalisation hervorgerufenen exakten Einstellung der Vokalhöhlen des Mundes, besonders auch bei der in den vorderen Mundpartien auftretenden starken Kontraktion der Muskelwände.

Vom menschlichen Ansatzrohr hat man in weitesten Kreisen

---

[1]) *Voltolini* (Rhinoskopie u. Pharyngoskopie. 1879. 2. Aufl.) sucht beispielsweise die Erklärung des Nasentones (vergl. auch später) darin, „dass hauptsächlich die Nasenknochen in Mitschwingungen versetzt werden; wir wählen unbewusst die Nasenknochen zum Resonanzboden für die Töne, die wir im Kehlkopf anschlagen, wir treiben durch einen besonderen Mechanismus der Zunge des Kehlkopfes und Rachens die Erzitterungen der Schallwellen gegen den harten Gaumen- und die Nasenknochen."

der Gaumenplatte, die sich aus hartem und weichem Gaumen zusammensetzt, besonders aber dem harten Gaumen, eine bedeutsame Rolle als resonanzverstärkendem Faktor zuerteilen wollen.

Merkel [1]) behauptet: „Namentlich vermag bei Abschluss des Schlundnasenraumes der harte Gaumen und die ihm aufstehende Nasenschädelwand die so wirksame Konsonanz [2]) der in den Nasenhöhlen enthaltenen Luft in ähnlicher Weise zu vermitteln, wie an der Violine der Steg und das Stimmholz dem Ton der Saiten die Konsonanz des Violinkörpers übermittelt."

C. R. Hennig [3]) schreibt: „Der harte Gaumen, sowie die mittleren Zahnpartien sind Hauptresonanzstellen für alle Töne eines jeden Gesangsorgans."

Maljutin [4]) misst der Form des harten Gaumens als eines wichtigen Bestandteils des Resonators, d. h. Schlund, Mund- und Nasenhöhlung, beim Singen eine bedeutsame Rolle zu. „Indessen spielt der harte Gaumen als Basis des weichen Gaumens und als den Schall reflektierende Fläche womöglich die Hauptrolle, nämlich die Rolle der Decke bei musikalischen Instrumenten, und seine Form wird bei dem Einen die Ursache von Misserfolg, bei Anderen die Ursache verschiedener Halskrankheiten. Ein weiteres Merkmal, das augenscheinlich auf eine gute Eigenschaft des Resonators hinweist, ist die Steilheit des Aufstiegs von den Zähnen zum weichen Gaumen. Bekanntlich verlangen die Gesanglehrer, um einen vollen Ton zu entfalten, von ihren Schülern, dass dieselben die Tonwellen derart leiten, damit diese von den Stirnknochen reflektiert werden. Es ist klar, dass hierzu eine besondere Form des Gaumens erforderlich ist, und je näher den Zähnen der tiefste Teil desselben gelegen ist, desto leichter ist es, den Ton in der gewünschten Richtung zu leiten."

Spiess [5]) erklärt: „Ich glaube allerdings, dass in der Struktur des harten Gaumens ein wichtiges Moment liegt für Fülle, Stärke und schönes wohllautendes Timbre einer Stimme. Die von den Stimmbändern in tönende Schwingungen versetzte Exspirationsluft muss möglichst ungehindert an Taschenbändern, Kehldeckel vorbei über den Zungengrund hinweg gegen den harten Gaumen

---

[1]) *Merkel*, l. c.

[2]) Wir würden sagen „Resonanz"!

[3]) *C. R. Hennig*, Über die Entstehung der „hohen Resonanz". Leipzig. 1902. Übrigens eine Fundgrube für „Resonanzen"!

[4]) *Maljutin*, Arch. f. Laryngologie u. Rhinologie. Bd. IX. 1899.

[5]) *Spiess*, Arch. f. Laryngologie u. Rhinologie. Bd. XI. 1901.

gerichtet werden, um hier in richtigem Winkel durch den Mund nach aussen zu dringen."

E. Barth [1]) führt aus: „Je tiefer nun der Kehlkopfstand und je geräumiger der Meso- und Hypo-pharynx, desto grösser die Möglichkeit, dass die Tonwellen an den harten Gaumen und an die hintere Rachenwand anschlagen, um von hier ungeschwächt nach aussen geleitet zu werden. Es sind dies wohl die Bedingungen, auf denen das sogenannte „Tragen der Stimme" beruht. Ferner ist es wahrscheinlich, dass die Nasenhöhle samt ihren Nebenhöhlen nur dann in Mitschwingung geraten und resonierend den Ton verstärken kann, wenn sie vom harten Gaumen aus in Mitschwingung versetzt werden."

Posthumus Meyjes [2]) meint: „Eine richtige Tonbildung entsteht nur dann, wenn der tönende Luftstrom gegen die Wurzeln der oberen Schneidezähne gerichtet wird, also gegen den vorderen Teil des harten Gaumens, der einigermassen wie ein Schallbrett wirkt."

Sehen wir von den in diesen Zitaten ausgesprochenen irrtümlichen Ansichten ab (Verstärkung des Stimmklangs durch Mitschwingen der Gaumenplatte u. s. w.), die schon in früheren Abschnitten ihre Widerlegung gefunden haben, so begegnen wir hier einem neuen Momente, der Reflexion der Tonwellen am harten Gaumen und der Lenkung des tönenden „Luftstromes" gegen denselben und gegen die Zahnreihe des Oberkiefers. Nach Ansicht *Merkels* [3]) sollen die Tonwellen von der ausgehöhlten Hinterfläche des Kehldeckels nicht nur an die hintere Rachenwand geworfen, sondern auch einander genähert und zum Teil ebenso wie die Licht- und Wärmestrahlen durch einen Hohlspiegel konzentriert werden. Die gewölbte Decke der Mundhöhle soll fast alle in verschiedenen Richtungen auffallenden Schallstrahlen gegen die Mundöffnung als gleichsam den Brenn- oder Vereinigungspunkt aller hinwerfen.

Wir begegnen hier wiederum einer Anzahl irriger Vorstellungen, die nichtsdestoweniger weitgehendste Verbreitung gefunden haben. Zunächst sind Luftstrom und Tonwellen, wie schon auseinandergesetzt, nicht identisch, sondern die Tonwellen können sich unabhängig vom Luftstrom nach allen Seiten hin ausbreiten, während der Luftstrom eine bestimmte Richtung einhält. In der freien Luft können zwar die Tonwellen durch einen Windstoss

[1]) *E. Barth*, Arch f. Laryngologie u. Rhinologie. Bd. XIII. 1903.
[2]) *Meyjes*, Arch. f. Laryngologie u. Rhinologie. Bd. VIII. 1898.
[3]) *Merkel*, l. c.

gerichtet erscheinen, wenn man z. B. von einem Musikpavillon mit freier Umgebung her bei einer herrschenden Windrichtung oder einem Windstoss Stellen stärkeren Musikklanges in der Umgegend wahrnimmt. Diese Erscheinung hat jedoch darin ihren Grund, dass die in Tonschwingungen begriffenen Luftschichten durch den Wind räumlich verschoben werden in der Richtung auf den Zuhörer, so dass dieser gleichsam der Klangquelle genähert wird. Für die engen Verhältnisse im menschlichen Ansatzrohr sind aber derartige Einflüsse des anblasenden Luftstromes unbedingt ausgeschlossen.

Weiterhin ist es nicht angängig, die Gesetze der Reflexion und Brechung der Lichtwellen ohne weiteres auf die Tonwellen anwenden zu wollen. Bedenkt man, welche enormen Differenzen zwischen Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes und des Schalles, zwischen der Länge der Lichtwellen und Tonwellen bestehen, so wird a priori die einfache Übertragung der Reflexionsgesetze des Lichtes auf den Schall als sehr gewagt erscheinen müssen. Zwar findet man in den meisten Lehrbüchern der Akustik den Satz, dass die Schallwellen sich wie die Lichtwellen verhalten, dass sie durch Prismen besonderer Art abgelenkt, durch Spiegel und akustische Linsen gesammelt werden können, dass der Ausfallswinkel gleich dem Einfallswinkel ist u. s. w. Im Echo und den Flüstergalerien finden diese Lehren auch scheinbar ihre Bestätigung. Diese Gesetze der regelmässigen Reflexion und Brechung des Schalles, wie sie von *Lord Rayleigh*, *Tyndall*, *Sondhaus* u. A. bei sehr hohen Tönen, also sehr kurzen Tonwellen, abgeleitet und aufgestellt worden sind, gelten jedoch nur, wenn die Wellenlänge des Schalles sehr oft in den Lineardimensionen der reflektierenden oder brechenden Fläche enthalten ist. Die regelmässige Brechung des Lichtes kann nach *Fresnel* auch nur an solchen Flächen stattfinden, deren Dimensionen gegen die Wellenlänge des Lichts sehr gross sind. Sobald diese Bedingung nicht erfüllt ist, verwandelt sich auch beim Licht die regelmässige Brechung sofort in Zerstreuung durch Beugung. Betrachtet man nun die geringe räumliche Ausdehnung des menschlichen Ansatzrohres im Verhältnis zu den Wellenlängen der in Frage kommenden Töne des Stimmumfanges, also Bass E mit einer Wellenlänge von 4,18 m und Sopran c^3 mit einer solchen von 0,33 m (temperierte Stimmung bei 15° C.), so erhellt, dass von einer regelmässigen Brechung und Reflexion der Tonwellen, ja auch nur einer annähernden Berechnung derselben im

menschlichen Ansatzrohr[1]), nicht die Rede sein kann. Vielmehr gehen, wie *Mach* und *Fischer*[2]) nachgewiesen haben, die hier in Betracht kommenden Schallwellen bei entgegenstehenden Hindernissen parallel der Oberfläche hin, folgen jeder Krümmung und biegen um jede Ecke herum.

Abgesehen von der absoluten physikalischen Unmöglichkeit würden sich auch anatomische und physiologische Schwierigkeiten in den Weg stellen, um den Schallwellen eine bestimmte Richtung, also beispielsweise nach dem vorderen Teil des harten Gaumens, geben zu wollen. Es würde eine ziemlich grosse Bewegungsfreiheit des Kehlkopfes, besonders in sagittaler (hinten-vorn) Richtung, beim Singen voraussetzen, die Schall-„Strahlen" gleichsam wie ein Schall-„Scheinwerfer" an einen bestimmten Punkt direkt oder indirekt zu werfen. Tatsächlich ist der Kehlkopf beim Singen im wesentlichen einer Auf- und Abwärtsbewegung nur mässigen Grades und einer Bewegung nach vorne und hinten, jedoch sehr geringer Art, fähig. Nach *Gutzmann* ist die sagittale Bewegung des Kehlkopfes, selbst bei starken Bewegungen des ganzen Organs immer sehr gering und beträgt höchstens 2 mm[3]). Allenfalls könnte der Schall-„Strahl" eine willkürliche Änderung in seiner Richtung erfahren durch Emporwölben der Zungenwurzel, was jedoch der Entwicklung eines schönen, freien Tones erfahrungsgemäss sehr hinderlich werden würde. Ähnlich verhält es sich mit dem Luftstrom, wollte man ihm eine bestimmte Richtung nach einer bestimmten Stelle des Ansatzrohres geben. Wenn wirklich bei einer angeblichen „Tonführung" an den harten Gaumen bessere Resultate in der Stimmbildung gezeitigt werden, wie dies von manchen Gesangspädagogen behauptet und verfochten wird, so mag dies darin seinen Grund haben, dass, in dem Bestreben, den „Tonstrom" an den harten Gaumen zu führen, die Aufmerksamkeit des Sängers von gewissen Muskelgruppen abgezogen wird, deren Innervation sonst ein freies Entfalten der Stimme verhindern würde. Die an manchen Stellen des harten Gaumens besonders fühlbaren Vibrationen sind als Folgeerscheinungen in dem früher erwähnten

---

[1]) Wie bei den Abbildungen in *Merkels* Anatomie und Physiologie des menschlichen Sprach- und Stimmorgans (Anthropophonik), oder in *E. Barths* Lehre vom Tonsatz, Arch. f. Laryngologie u. Rhinologie. Bd. XVI.

[2]) *Mach* und *Fischer*, Poggendorffs Annalen. 1873. Bd. 149. Vgl. auch *Mach*, Arch. f. Ohrenheilk. 1875. Bd. IX. S. 72.

[3]) *H. Gutzmann*, Physiologie der Stimme und Sprache. 1909.

Sinne aufzufassen, die aus anatomisch-histologischen und physiologischen Gründen sich stärker geltend machen können.

Interessant für unsere Betrachtungen sind die schon vielfach beobachteten, besonders aber von *Hopmann*[1]) näher untersuchten Vibrationsbezirke, welche bei gesungenen Vokalen am Kopf und Hals z. B. durch Abtasten oder mittels Phonendoskops und anderer Instrumente sich nachweisen lassen. Es wechseln hierbei Bezirke stärkster Vibration ohne scharfen Übergang mit weniger starken und kaum fühlbaren ab.

Hopmann berichtet: „Der gesungene Vokal war an jeder Stelle des Kopfes mit dem Phonendoskop zu hören, aber sowie die Grenze eines stärker vibrierenden Bezirkes überschritten wurde, hörte man ein ganz ausgesprochenes Dröhnen."

Bezüglich der Beurteilung des Dröhnens als Resonanzerscheinung ist wie bei dem Otomikrophon die grösste Vorsicht am Platze, da das Phonendoskop ebenso wie das Otomikrophon bekanntermassen ein schallverstärkendes und schallentstellendes Instrument ist, das die von den Kopfknochen durch direkte Berührung aufgenommenen und weitergeleiteten Schallschwingungen zum Ohr führt.

Die einzelnen Vokale erzeugten nun verschieden grosse und deutliche und anders lokalisierte Vibrationsbezirke am Hirn- und Gesichtsschädel, die bei den einzelnen Individuen ungleich leicht oder schwer tastbar waren. Am deutlichsten und stärksten waren die Vibrationen bei den Vokalen I und U, mehr oder weniger deutlich bei O und E, am wenigsten deutlich bei A. Wurde eine Reihe von Individuen mit unausgebildeten Stimmen durchgeprüft, so fand *Hopmann* solche, bei denen die Vibrationen sehr leicht tastbar waren, auch ohne dass die Tonangabe von Natur aus eine besonders starke war. Selbst wenn jene mit schwacher Stimme einen Ton angaben, waren die Vibrationen trotzdem deutlich. Besonders bei a trat dies hervor, bei dem sonst nur schwache Vibrationen auftraten. Hand in Hand damit ging die Grösse der Verteilung der Vibrationsbezirke des Schädels. Fernerhin war zu bemerken, dass die Vibrationsbezirke bei den Vokalen O und E sich je nach ihrer Färbung mehr dem von I und U näherten. Ausserdem erstreckte sich eine Vibrationszone in Form eines Kragens um den Hals,

[1]) *E. Hopmann*, Über die bei gesungenen Vokalen an Kopf und Hals auftretenden Vibrationen. Med.-pädagog. Monatsschr. f. d. ges. Sprachheilk. 1909. 19. Jahrg.

wenn auch in diesem Gebiete die Vibrationen an Stärke sehr wechselnd waren.

Auf dem Hirnschädel lagen an dessen Konvexität grössere und kleinere Vibrationsbezirke wie eine Kalotte oder in Form eines Ovales auf, deren breiterer Teil nach hinten gerichtet war. Je deutlicher im allgemeinen die Vibrationen tastbar waren, desto weiter dehnten sich die Bezirke, in denen sie sich nachweisen liessen, über das Schädeldach aus. Am grössten waren die Bezirke der Vokale I und U. Je schwächer die Vibration, z. B. bei leiser Stimme oder beim Vokal A, desto mehr schrumpfte der von ihnen eingenommene Bezirk auf der Mitte des Schädeldaches zusammen. Die Ausdehnung des tastbaren Vibrationsbezirkes ging jedoch nur bis zu einer für jeden Vokal und jedes Individuum bestimmten maximalen Grenze, darüber hinaus dehnte sich der Vibrationsbezirk auch bei stärkstem Anschwellenlassen der Stimme nicht aus.

Die Vibrationsbezirke des Gesichtsschädels lagen in auffallender Symmetrie über den Kiefergelenken, über den Wangen und teilweise über dem knöchernen Teil der Nase, auch ohne dass bei letzterem der sie veranlassende Vokal nasaliert worden wäre. Im einzelnen verhielten sich die Bezirke im Gesicht bei den Vokalen folgendermassen.

Bei dem Vokal A konnten an der Wange Vibrationen in einer spitzwinkligen Fläche abgetastet werden, deren offene Seite nach der Öffnung des Mundes sich wandte, während die Spitze des Winkels nach dem Kiefergelenk zeigte. Der Bezirk umfasste also den freien Raum zwischen dem Ober- und Unterkiefer jederseits, dabei reichte er nicht ganz bis zum Rande des geöffneten Mundes. Über der Nase waren beim Vokal A nur Vibrationen zu tasten bei solchen Individuen, bei denen sie sich überhaupt leicht wahrnehmen liessen, ferner bei ausgebildeten Stimmen und schliesslich dann, wenn der Vokal nasaliert wurde. Der Vibrationsbezirk lag hierbei über den Nasenbeinen und erstreckte sich dann abwärts bis über die Naht, in der die knöcherne mit der knorpligen Nase zusammenstösst.

Beim Vokal U befanden sich die durch dessen Bildung bedingten vorgeschobenen und zugespitzten Mundpartien, die den Schall nur durch eine kleine Öffnung austreten lassen, in fühlbarer Vibration. In einer Linie, die sich von der Oberlippe bogenförmig zum Jochbein und Oberkiefergelenk fortsetzt, fand das Vibrationsgebiet dieses Vokals seine obere Grenze. Über jedem Kiefergelenk fand sich wieder

ein Punkt starker Vibration. Nach rückwärts setzte sich die Linie hinter dem Ansatze der Ohrmuschel auf den Warzenfortsatz fort und lief, im Ganzen dem Ansatz der Nackenmuskulatur folgend, zur Protuberantia occip. ext. Nach unten ging dieses Vibrationsgebiet in das des Halses über.

Die Begrenzungslinien beim Vokal I waren annähernd die gleichen wie bei U, nur die vorderen Mundpartien waren wenig oder gar nicht bei den Vibrationen beteiligt. Der Vibrationsbezirk über der Nase war bei U und I nur bei einer Anzahl von Individuen tastbar.

Die Vibrationsbezirke näherten sich bei O und E wie die auf dem Schädeldach bald mehr denen von U und I, bald mehr dem von A, je nach der Färbung dieser Vokale.

Was nun die Bedeutung dieser fühlbaren Vibrationen anbelangt, so dürfte sie aus der Bildungsweise der Vokale zu erklären sein. Bei den Vokalen I und U ist der Mundkanal verengt, beim U durch Verengung des vordersten Teils des Ansatzrohres, d. h. der Lippen, beim I dadurch, dass sich der Zungenrücken zu beiden Seiten an den Gaumen anlegt, so dass nur in der Mitte eine Rinne für die vorströmende Luft offen ist. Es resultiert also bei I eine Verengerung des mittleren Teils der Mundhöhle, während das Ansatzrohr beim Vokal A keine derartige Enge, sondern einen freien Mundkanal aufweist; die übrigen Vokale nehmen Zwischenstellungen ein. Dementsprechend verhalten sich auch die Vibrationsbezirke hinsichtlich ihrer Ausdehnung und Stärke. Denn da die Mundhöhle einen Resonator darstellt, so gilt auch von ihr der Satz: Je enger die Öffnung, desto stärker gerät die eingeschlossene Luft in Schwingung und teilt diese in Form von Erschütterungen den Wänden mit. Ähnliche Eerscheinungen wie die bei den Vibrationsgebieten kann man bemerken, wenn man die Ohren verschliesst und dann spricht oder Vokale singt. Bei U und I dröhnt dann die Stimme auch am meisten.

Schwieriger gestaltet sich eine Erklärung der Lage der Vibrationsbezirke selbst. Auffallend ist immer die stets symmetrische Verteilung der Bezirke im Gesichtsschädel, ferner die Begrenzung, die zumeist den Ansatzpunkten der Wangenmuskulatur (bei den Vokalen I und U) und nach hinten sich fortsetzend den Ansätzen der oberen Rückenmuskulatur entspricht. Weiterhin ist auffallend das Freibleiben von Vibrationen der Stirngegend.

Es erhebt sich nun zunächst die Frage, ob diesen Vibrationen eine einheitliche Ursache zugrunde liegt, z. B. die fortgeleiteten

Zerrungen der Stimmlippen an ihren Befestigungspunkten, woran der Vibrationskragen des Halses denken lässt, oder ob nur die von den eingeschlossenen schwingenden Luftmassen hervorgerufenen und mitgeteilten Erschütterungen des Ansatzrohres, insbesondere der muskulösen Wände der Mundhöhle in Rechnung zu ziehen sind. Für den Bezirk auf der Nasenwurzel dürften vielleicht die lamellösen, fast papierdünnen Wände des Siebbeinzellenkomplexes Anlass geben, die ja leichter und stärker in Schwingungen geraten und die gewissermassen nach aussen projiziert, ihren Ausdruck in den Vibrationen der Nasenwurzel finden könnten.

Für die sonderbaren Vibrationsbezirke der Schädelkonvexität werden vermutlich ähnliche Verhältnisse zu berücksichtigen sein, wie sie *Frey* [1]) in seinen Versuchen über die Fortpflanzung des Schalles im Knochengewebe mittels eines verfeinerten Otomikrophons gefunden hat. Liess dieser Autor nämlich von der Pyramide der einen Seite eines Schädels oder vom Hinterhaupt Schallwellen durch eine direkt aufgesetzte Stimmgabel ausgehen, so verbreiteten sie sich wohl im ganzen Schädel, wurden aber vorzugsweise nach den symmetrischen Punkten der anderen Schädelhälfte geleitet und versetzten also die diametral gegenüberliegenden Stellen des Schädels in lebhafte Vibrationen. Bestätigt wurden diese Resultate durch *Iwanoff* [2]).

Es liegt die Vermutung nahe, dass wir es ebenso bei den *Hopmann*schen Vibrationsbezirken mit einer Summation von Schallschwingungen zu tun haben, die von den Wandungen des Ansatzrohres ausgehend, durch Weichteile und Knochen fortgeleitet auf der Konvexität des Schädels zusammentreffen und hier Bezirke von Vibrationen hervorrufen. Je nach Art und Stärke des erzeugten Klanges einerseits und der Dicke und Struktur der Knochen und der Weichteile andererseits, werden sich von Fall zu Fall und bei den verschiedenen Individuen verschiedene Intensitäten und Ausdehnungen der Vibrationsbezirke erwarten lassen. Schlüsse jedoch aus derartigen Vibrationen auf die Art der Tonbildung und des Tonansatzes zu ziehen, wie man es bereits in Gesangskreisen[3]) versucht hat, ist unzulässig, da jene eben auch

---

[1]) *H. Frey.* Zeitschr. f. Psychologie u. Physiologie der Sinnesorgane. Bd. 28. S. 32. 1902.

[2]) *Iwanoff,* Zeitschr. f. Psychologie u. Physiologie der Sinnesorgane. Bd. 31. 1903.

[3]) Vergl. Sitzungsbericht der Gesellschaft für Deutsche Gesangskunst und Forschung. Die Stimme. 1910. Heft 9.

nur als belanglose Folgeerscheinungen mitgeteilter, fortgeleiteter und angehäufter Schallwirkungen aufzufassen sind und im allgemeinen, wie ausdrücklich betont wird, auch bei unausgebildeten Stimmen gleich stark sich finden.

Noch einige Worte seien der akustischen Bedeutung des menschlichen Ansatzrohres gewidmet, unter dem man den Raum von den Stimmlippen ab bis zur Mund- und Nasenöffnung versteht. Während bei den Holzblasinstrumenten (Klarinette u. s. w.) die Länge des Ansatzrohres die Tonhöhe bestimmt und die in ihm sich bildenden stehenden Tonschwingungen ihre Perioden der Zunge aufdrängen, ist eine solche Beeinflussung beim menschlichen Stimmorgan mit Sicherheit auszuschliessen. Namentlich hat dieses nach *Helmholtz* zu nachgiebige Wände, als dass in ihm Luftschwingungen zustande kommen könnten, stark genug, um den Stimmlippen eine Schwingungsperiode aufzuzwingen, die nicht mit der von ihrer eigenen Elastizität bedingten übereinstimmt. Die Mundhöhle selbst ist ein zu kurzes und meist zu weit geöffnetes Ansatzrohr, als dass ihre Luftmasse wesentlichen Einfluss auf die Tonhöhe haben könnte. Für die Klangfarbe des Stimmklanges dagegen ist die Konfiguration des Ansatzrohres von massgebendster Bedeutung.

Im Ganzen betrachtet ist das Ansatzrohr ein im oberen Teil sich gabelnder, weichwandiger Schalltrichter, dessen Wände streckenweise willkürlich veränderliche resonatorenähnliche Hohlräume bilden. Von Sprachrohren und Phonographen dürfte die Wirkung eines Schalltrichters jedermann geläufig sein. Die vor den Mund aufgesetzte und zu einem Hohlraum geformte Hand vermag jederzeit darüber Auskunft zu geben. In dem engen Raum des Ansatzrohres werden sich die Schallwellen mannigfach addieren und in ihrer Wirkung verstärken, in verkleinertem Masse ein Vorgang, wie er sich bei den Wasserwellen in Meeresbuchten bei starkem Seegang beobachten lässt. Der Höhe der Wasserwellen entspräche in unserem Falle die Amplitude der Tonwellen.

Über die Veränderung von Grundton und Obertönen durch Schalltrichter hat *Meissner* [1]) an Blasinstrumenten interessante

[1]) *Meissner*, Klangaufnahmen von Blasinstrumenten, eine Grundlage für das Verständnis der menschlichen Stimme. Herausgegeben von R. Wachsmut. Pflügers Arch. f. d. ges. Physiologie. Bd. 116.

experimentelle Ergebnisse durch Klangkurven erhalten, und auch beim menschlichen Schalltrichter finden ähnliche Veränderungen statt.

Von den Resonatoren und „Resonanzstellen" des Ansatzrohres ist viel gefabelt worden. Übereifrige suchten in jedem Eckchen und Winkelchen, an jedem Vorsprung, einen Ort der „Resonanz". Erwähnt seien nur die Stimmbandtaschen (*Morgagni*sche Ventrikel), die als geeignet für die Begünstigung der höchsten Töne angesehen wurden und heute noch vielfach dafür gehalten werden. Erinnern wir uns der bei den Glasröhrchen gefundenen Resultate, so ist die Behauptung einer Resonanz durch solche kleine Spalten ohne weiteres hinfällig.

Dass eine so geringe Verlängerung des unteren Ansatzrohres, wie sie durch prinzipielle Tieferstellung des Kehlkopfes beim Singen aller Laute, also auf Kosten einer erzwungenen unnatürlichen Stellung desselben, von manchen Gesangsschulen, z. B. der des bekannten *Stockhausen*, durch Bevorzugung von U-Lautkombinationen angestrebt und von *Hellat*[1]) und *E. Barth*[2]) empfohlen wird, „günstigere Resonanzbedingungen" bieten werde, ist kaum wahrscheinlich.

Über die Resonanzfähigkeit der Mundhöhle als eines Resonators sind seit *Helmholtz* sehr viele Untersuchungen angestellt worden, auf die näher einzugehen, den Rahmen dieser Arbeit überschreiten würde. Durch Lage und Gestalt der Zunge, Stellung des Gaumensegels, besonders aber durch Erweiterung und Verengerung der Mundöffnung, kommen die mannigfachsten Veränderungen der Grösse und Form des Mundraumes zustande, dessen Eigenton oder Eigentöne sich jeweils dem Stimmklang beimischen und ihm sein eigentliches Gepräge geben. Jedem Vokale kommt dabei eine charakteristische Tonhöhe als Verstärkungsgebiet zu. Was der Mundhöhle bei der Erzeugung von Vokalen an Raum abgeht, kann durch entsprechende Veränderung der Mundöffnung, nach früher erläuterten Gesetzen, ergänzt werden. Streng genommen besitzt der Mundresonanzraum, weil er zusammengesetzter Form ist, nicht einen, sondern, entsprechend den einzelnen Abteilungen, mehrere Eigentöne, wobei jedoch ein Eigenton meist dominierend ist. Nur bei einigen Vokalen, z. B. bei I und U, lassen sich zwei Eigentöne deutlich erkennen. Durch

[1]) *Hellat*, Arch. f. Laryngologie u. Rhinologie. Bd. VIII. 1898.
[2]) *E. Barth*, Arch. f. Laryng. u. Rhin. Bd. XIII. 1903 u. XVI. 1904.

Anblasen dieses Mundresonators, mittels des aus der Trachea dringenden Luftstromes, kommt die Flüsterstimme, durch „Antönen" seitens des Stimmtones der Vokal, der Träger der Stimme, zustande.

Da die Vokalräume nach *Scripture* [1]) wie die „Wasserresonatoren", deren Töne, wie erinnerlich, einen eigentümlichen Vokalcharakter haben sollen, auch sehr gedämpft sind, so können sie auf eine grosse Strecke von Tonhöhen ansprechen, wie wir es ja tatsächlich beim Singen und Sprechen finden. Innerhalb eines ganzen Tonbereichs können wir jeden Vokal ganz unabhängig von der Tonhöhe hervorbringen. Aus all den genannten Faktoren, nicht zuletzt aus der weichen Beschaffenheit der Wandungen, resultiert ein Stimmklang, den wir als den spezifisch menschlichen empfinden.

Als eine Abzweigung des Ansatzrohrs stehen ganz ohne Zweifel die Nasenräume, unter denen wir, nach Ausschaltung der Nebenhöhlen, nunmehr nur den Nasenrachenraum samt Hauptnasenhöhlen verstehen wollen, in Beziehung zum Klang der Sprache und Stimme; für strittig gilt, welcher Art und welchen Grades diese Beziehung ist. Behauptete doch der berühmte Tenor *Jean de Reszke:* „Gesang ist nur eine Frage der Nase[2])."

Um Aufschluss auch über die Berechtigung solcher Ansichten zu gewinnen, wollen wir wieder von einer anatomischen Betrachtung ausgehen. Wie bekannt, bilden die Hauptnasenhöhlen eine nichts weniger als einheitliche Höhle, die durch eine mediane Scheidewand in zwei fast symmetrische Hälften zerlegt wird, deren Lumen, wenigstens im knöchernen Teil, durch drei vorspringende Muscheln mit ihrer schwellungsfähigen Schleimhaut aufs äusserste eingeschränkt, ja häufig genug geradezu bis zur Undurchgängigkeit verlegt wird. Der Raum zwischen Nasenmuscheln und Scheidewand, Muscheln und seitlicher Nasenwand ist sehr eng und zählt in seinen Dimensionen teilweise nur nach Millimetern. Für den mit akustischen Verhältnissen Vertrauten ist daher eine „Resonanz" der die Hauptnasenhöhlen erfüllenden Luftmasse im höchsten Grade unwahrscheinlich; eine Wirkung im Sinne von Resonatoren als offenen Hohlzylindern, an die man ja bei den Nasengängen

[1]) *Scripture*, l. c.

[2]) Zitiert nach *Saenger*, Gesangsmethoden. Musikalisches Wochenbl. 1900.

denken könnte, ausgeschlossen, da wie schon früher erläutert, ganz andere Dimensionen, sowohl hinsichtlich der Länge als auch des Durchmessers, für die bei dem menschlichen Stimmumfang in Frage kommenden Töne erforderlich wären. *Saenger* hat diese Behauptung durch Experimente gestützt [1]). Bei der Untersuchung einer Anzahl von Röhren mit einem Durchmesser von 8—30 mm stellte sich heraus, dass die Resonanzwirkung einer entsprechenden Stimmgabel mit abnehmendem Durchmesser der Röhre abnahm und dass bei einem Röhrendurchmesser von 8 mm die Resonanz gar nicht mehr oder doch nur ausserordentlich wenig wahrnehmbar war. Da nun der Querschnitt der Nasenhöhlen selbst häufig genug noch kleiner als 8 mm ist, so leuchtet das Obige wohl ohne weiteres ein.

Günstigere akustische Verhältnisse treffen wir bei dem Nasenrachenraum an, der einen einheitlichen Hohlraum bildet und dessen eine Öffnung durch das Gaumensegel verengt und erweitert werden kann, während dessen andere Öffnung durch die hinteren Enden der Muscheln etwas eingeengt ist. Mit Ausnahme der oberen Wand, des Bodens der Keilbeinhöhle, werden die hinteren und seitlichen Wandungen durch den obersten Teil des Muskelschlauchs des Pharynx gebildet. An Stelle einer vorderen Wand finden sich die hinteren Öffnungen der Nasenhöhlen, die Choanen, und die hinteren Muschelpartien, während nach unten zu der Nasenrachenraum durch das bewegliche Gaumensegel einen zeitweiligen Abschluss von dem übrigen Ansatzrohre erhält. Nach *Luschka* [2]) betragen die Grössenverhältnisse in der Breite 3,5 cm, in der Tiefe 2,0 cm und in der Höhe 1,8 cm, so dass ungefähr eine Wallnuss quergelegt Platz finden könnte, sofern das Lumen nicht schon anderweit eingeengt ist. Die Weite ist jedoch nicht unbedeutenden individuellen Schwankungen unterworfen, welche völlig unabhängig von der Körpergrösse und der Gesichtsformation sind.

Zusammengenommen legen diese Umstände die Vermutung nahe, dass der Nasenrachenraum als ein weichwandiger Resonator wohl ähnlich wie die Mundhöhle wirken könnte.

Bei der Beurteilung des Einflusses der Nasenräume (gemeint sind also jetzt Nasenrachenraum samt Hauptnasenhöhlen) auf den Stimmklang, kommen uns die mannigfachen Erfahrungen, die an

[1]) *Saenger*, Entstehung des Näselns. Pflügers Archiv. Bd. 66.
[2]) *v. Luschka*, Schlundkopf des Menschen. 1868.

Sprachstörungen, im besonderen bei den verschiedenen Formen des Näselns, reichlich gesammelt werden konnten, zu Hülfe. Denn bei den letzteren werden die Nasenräume und die Mundhöhle teilweise oder vollkommen ausgeschaltet. Aus den jeweiligen Ausfallserscheinungen oder Störungen des Stimmklangs werden wir gewisse Schlussfolgerungen ziehen können.

Es wäre vielleicht noch zu bedenken, ob nicht die in die Nasenräume dringenden Tonwellen an und für sich schon einen anderen Charakter haben als die in der Mundhöhle befindlichen. Wegen der gegen die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles verschwindenden Kleinheit der Dimensionen des Ansatzrohres, müssen sich jedoch die Bewegungen der Tonwellen, sowie sie aus dem Kehlkopf heraufdringen, bei offener Kommunikation zwischen Mundhöhle und Nasenräumen gleichzeitig in beiden Zweigen des Ansatzrohres verbreiten, und zwar mit den vom Ansatzrohr hervorgerufenen spezifischen Veränderungen.

Ist der Nasenrachenraum bei der Phonation durch irgend welche Neubildungen eingeengt oder gar durch Verwachsungen des weichen Gaumens mit der hinteren Rachenwand ausgeschaltet, so entsteht ein klangloses Stimmtimbre, das von *Wilhelm Meyer* [1]) als „tote Sprache" gekennzeichnet und von *Gutzmann*[2]) Rhinolalia clausa posterior benannt worden ist. Über den Einfluss einer stark vergrösserten Rachenmandel auf die Aussprache, schreibt *Meyer* in seiner klassischen Arbeit: „Es liegen die Fehler einerseits in dem Mangel an Resonanz der Stimme: die ausgesprochenen Laute klingen dumpf, kurz, andererseits darin, dass die nasalen m, n, ng, nicht ausgesprochen werden können. Statt „Nase" sagt der Kranke „Dase" oder „Lase", statt „Zimmermann" „Zibberbad", statt „Gesang" „Gesagk". In weniger ausgesprochenen Fällen, die das Ohr übrigens leicht erkennt, misslingt nur ab und zu die Aussprache der Nasalen und zwar sowohl beim Reden als besonders beim Singen hoher Töne (die Aussprache „schlägt an"). Das Singen hoher Töne ist solchen Kranken überhaupt beschwerlich und in einem Falle stieg nach Entfernung der Geschwulst die Stimme plötzlich um 1½ Töne".

---

[1]) *Wilh. Meyer*, Über adenoide Vegetationen im Nasenrachenraum. Arch. f. Ohrenheilk. 1874. Bd. 8.

[2]) *H. Gutzmann*, Von den verschiedenen Formen des Näselns. Sammlung zwangloser Abhandlungen aus dem Gebiete der Nasen-, Ohren-, Mund- und Halskrankheiten. Halle 1901.

Michel [1]) charakterisiert jene Sprachstörung mit den Worten, es klinge „wie wenn ein Violinkasten mit einem Tuch ausgestopft wäre".

Sind dagegen nur die Nasenhöhlen selbst durch irgendwelche Veränderungen (Polypen, Scheidewandverbiegungen, Schwellungen der Schleimhäute u. s. w.) verlegt, so entsteht ein dumpfer nasaler Klang, die Rhinolalia clausa anterior (*Gutzmann*), eine Erscheinung, die wohl lediglich als Behinderung des Schalldurchtritts aufzufassen ist. Es macht dabei wenig Unterschied, ob die Verstopfung in der Nase weit vorne sitzt oder an den hinteren Abschnitten der Nase Platz greift (*Gutzmann*). Man kann künstlich diesen Klang erzeugen, wenn man die Nasenlöcher mit den Fingern schliesst oder stark verengt. Die alsdann besonders stark auftretenden Vibrationen der Nasenwände werden ebenso als Folgeerscheinung des behinderten Schalldurchtritts aufzufassen sein, wie die durch die verengerte Mundhöhlenöffnung hervorgerufenen starken Erschütterungen der Mundwandungen, besonders bei den Vokalen i und u, die in den Vibrationsbezirken *Hopmanns* ihren Ausdruck fanden.

In Anbetracht dieser Erfahrungen können wir uns nicht der Tatsache verschliessen, dass die Nasenräume einen nicht zu unterschätzenden Einfluss auf den Wohlklang der Stimme haben müssen. Einen Stützpunkt scheinen die Untersuchungen *Katzensteins* [2]) am Grammophon und an Klangkurven zu geben. Nach Ausschaltung des Nasenrachenraums und der Nasenhöhlen während der Lautgebung mittels eines Obturators blieb beim Vokal A den beiden am meisten verstärkten Teiltönen ihre Eigenschaft erhalten; doch hatten sie hinsichtlich ihrer relativen Stärke die Rollen vertauscht. Beim A war der niedrigere Ton der stärkere. Beim E traten alle hohen Teiltöne stark auf. Dasselbe galt vom O. Statt des vierten erscheinen hier der dritte und fünfte Teilton verstärkt. Beim U war kein nennenswerter Unterschied gegenüber dem normalen Fall.

Wurde nun der Abschluss des Gaumensegels bei der Vokalbildung aufgehoben, so wurden beim A die weniger hohen Teiltöne den anderen gegenüber verstärkt. Das Gebiet der stärksten Teiltöne wurde nach unten verschoben. Beim nasalen E war das nicht so deutlich zu erkennen, immerhin waren auch hier die höheren Teiltöne gegenüber dem normalen Fall abgeschwächt. Beim O

[1]) *Michel*, Krankheiten der Nasenhöhle und des Nasenrachenraums. 1876.

[2]) *Katzenstein*, Passow-Schaefer, Beiträge. 1910. Bd. III.

blieben die beiden Hauptverstärkungstöne (zweiter und vierter Teilton) erhalten. Beim U war gar kein nennenswerter Unterschied gegen den normalen Fall zu konstatieren.

Da also bei abgesperrten Nasenräumen zumeist ein Zurücktreten der niederen Teiltöne nicht zu verkennen ist, so würde dies nach *Katzenstein* die Vermutung nahelegen bezw. bestärken, dass die Nasenräume die weniger hohen Teiltöne begünstigen.

Auf Grund der anatomischen, physiologischen und akustischen Auseinandersetzungen sowie der Sprachstörungen dürfte der Schluss gerechtfertigt sein, als Sitz jener Erscheinungen den Nasenrachenraum anzusprechen, da er die Eigenschaften eines weichwandigen Resonators besitzt, während den Nasenhöhlen selbst nur die Rolle eines Schalltrichters zugemessen werden kann. Sicher zu weit gegangen ist es freilich, wie *Gerber*[1]) den Nasenrachenraum als „Hauptsitz der Akustik für die menschliche Stimme" anzusehen.

Es liegt nun die Schlussfolgerung nahe, es sei, um den Wohlklang der Stimme zu erhöhen, zweckmässig, möglichst mit offener und weiter Kommunikation zwischen den beiden Zweigen des Ansatzrohres zu singen. Wirklich sind denn auch solche Überlegungen von der Gesangspädagogik in die Tat umgesetzt. Infolge Unkenntnis des Verhaltens von Luftstrom und Tonwellen hat man jedoch nun den Luftstrom hinter die erschlaffte Gaumenklappe absichtlich und in grosser Stärke zur vermeintlichen Erreichung jenes Wohllauts in die Nase hinaufgetrieben, wobei man die Zungenwurzel unwillkürlich in die Höhe zog. Bitter haben sich diese Bestrebungen gerächt und sind zum Verderben mancher hoffnungsvollen Stimme geworden. Denn die Folge war, dass jetzt ein hässlicher, näselnder, bei langer Gewöhnung kaum zu beseitigender Klang entstand, wie er auch bei krankhaften Störungen des Nasenrachenabschlusses infolge von Lähmungen des Gaumensegels oder Defekten des harten und weichen Gaumens als Rhinolalia aperta zu Gehör kommt. Bei diesem Näseln wird also bei den einzelnen Lauten mehr Luft, als der Norm entspricht, durch die Nasenräume gepresst. Der emporgewölbte Zungengrund tut noch dazu sein übriges, Luftstrom und Klangwellen den Durchtritt durch die Mundhöhle zu versperren.

Wird dagegen der Durchtritt des Luftstroms nicht durch irgend eine Verengerung in der Mundhöhle gehindert, so bleibt jener

[1]) *H. Gerber*, Die Beziehungen der Nase und ihrer Nebenräume zum übrigen Organismus. Berlin 1896. S. Karger.

hässliche Klang fern, obwohl die Schallwellen hinter der Gaumenklappe durchtreten. In dem Masse nämlich, wie der Zungenrücken sich abflacht, verliert die Stimme ihren näselnden Charakter. Die Nasallaute, die sogenannten „Resonanten", lassen abstufend dies erkennen, also das französische „dans", das deutsche „Angel", „an", und „am", bei denen allerdings auch noch als Ursache des nasalen Timbres eine Verengerung des Mundkanals besteht, die sich jedoch immer weiter nach vorne schiebt, bis der Mund durch die Lippen bei m vollständig geschlossen ist. Werden nun diese geöffnet, so entsteht der Vokal A, bei dem also das Gaumensegel erschlafft ist und auch die Zunge in ruhiger Haltung auf dem Mundboden liegt. Der Luftstrom und die Tonwellen entweichen sowohl durch den weit geöffneten Mund, als auch infolge der Erschlaffung des Gaumensegels durch den Nasenkanal — der Luftstrom aber in geringerer Menge als beim Näseln.

Über die Grösse und Festigkeit des Gaumensegelverschlusses bei den einzelnen Lauten in ihrem Verhalten zum Näseln und zur „nasalen Resonanz" beim Singen und Sprechen sind zahlreiche interessante Versuche nach verschiedenen Methoden bekannt geworden. *Czermak* war der erste, der die experimentelle Untersuchung der Gaumensegelbewegung ausführte. Fast in dieselbe Zeit fallen die wertvollen Versuche, die *Passavant*[1]) mit *Moritz Schmidt*, gleichzeitig die Ergebnisse *Czermaks* bestätigend, anstellte. Von den uns hier interessierenden Versuchen seien nachstehende angeführt:

Zwischen hinterer Rachenwand und Gaumensegel wurden 5 cm lange Stückchen von Gummiröhren und elastischen Kathetern verschiedenen Durchmessers eingeführt. Das dickste Röhrchen betrug 10 mm (im Lumen 6 mm), ein mittleres 6,75 mm (Lumen 4 mm) und das dünnste 4,6 mm (Lumen 2,5 mm) im Durchmesser. Die freie Verbindung jedoch zwischen Mundhöhle und Nasenhöhle hinter dem Gaumensegel war noch etwas grösser als die Öffnung der Röhrchen, indem es namentlich bei dem dicken Röhrchen dem Gaumensegel unmöglich war, sich so dicht an jenes anzulegen, dass nicht auch ausserhalb desselben die Luft durchdringen konnte.

Die Resultate dieser Experimente, hier wortgetreu wiedergegeben, waren folgende.

Nach der Einführung des schmalsten sowohl als des mitt-

[1]) l. c.

leren Röhrchens war an der Sprache durchaus keine merkliche Veränderung wahrzunehmen. Alle Buchstaben des Abc wurden klar und ohne Nasenton vernommen, obgleich bei einigen Lauten, z. B. bei S ein geringes Ausströmen von Luft durch die Nase konstatiert wurde. Anders verhielt es sich bei dem Versuch mit dem dicken Röhrchen. Die Sprache war bei diesem Versuch eine entschieden näselnde. Der Nasenton war namentlich bei jenen Buchstaben unverkennbar, bei welchen zuerst ein Verschluss der Mundhöhle durch die Lippen oder Zunge stattfindet, der, plötzlich aufgehoben, die Luft aus der Mundhöhle durchlassen soll. Am deutlichsten war der näselnde Ton hörbar bei T, P und X, ferner war er unverkennbar, obgleich etwas weniger auffällig, bei D, B, S, R, G, H, Q und Z. Bei den übrigen Mitlautern und bei sämtlichen Selbstlautern war auch bei dem Versuch mit dem dicken Röhrchen kein Nasenton hörbar. Ebenso klang die Stimme bei dem Singen ganz rein, solange bloss eine Melodie mit *lala* oder mit jedem anderen Vokal gesungen wurde. Bei dem Gesang mit Worten dagegen liessen sich bei den Mitlautern, welche beim Sprechen näselnd klangen, ebenfalls Nasentöne wahrnehmen.

Passavant weist ferner darauf hin, dass nicht selten Patienten mit einer Gaumenspalte, die nur mit näselnder Stimme zu sprechen vermögen, mit klangvoller Stimme und ohne näselnden Ton singen können, solange es sich bloss um Melodien handelt, die in einem beliebigen Selbstlauter erklingen, ohne dass die Worte dabei ausgesprochen werden. Beim Gesang ohne Worte, wobei der Mund weit geöffnet ist, findet sich in der Mundhöhle kein Hindernis, welches den Luftstrom der Nase zuführt. Anders ist es bei der Sprache, wo die Mundhöhle zur Erzeugung der verschiedenen Laute durch die Zunge und die Lippen verengt wird, wodurch dem Luftstrom Hindernisse in den Weg gelegt werden, welche ihn bei mangelhafter Funktion des Gaumensegels nötigen, seinen Weg durch die Nase zu nehmen.

Auch vermittels rhinoskopischen Spiegels fand *Pieniazek* [1]), dass bei den reinsten, ohne nasalen Beiklang ausgesprochenen Vokalen eine Lücke zwischen Gaumensegel und hinterer Rachenwand zu beobachten war, die in der Mitte, wo die Uvula liegt, am kleinsten, nach den beiden Seiten zu aber breiter wird.

Voltolini [2]) äussert sich ähnlich über eine auf diese Art entstandene „semmelförmige" Gestalt des Nasenrachenraums.

[1]) *Pieniazek*, Wiener med. Blätter. 1878.

[2]) *Voltolini*, Rhinoskopie u. Pharyngoskopie. 1879.

Die Resultate der Versuche, die in der Folgezeit von den verschiedensten Autoren nach verschiedenen Methoden angestellt wurden, lassen sich dahin zusammenfassen, dass bei den Sprachlauten die Nasenhöhlen in der Regel (mit Ausnahme der Nasallaute und meistens auch des Vokals A) durch das Gaumensegel von dem übrigen Ansatzrohr, bei den einzelnen Lauten mit verschiedener Dichtigkeit, abgeschlossen werden, dass aber andererseits eine nicht unerhebliche Öffnung zwischen Nasenhöhlen und Mundhöhle bestehen kann, ohne dass ein näselnder Beiklang zustande kommt, vorausgesetzt, dass keine abnorme Enge der Mundhöhle gebildet wird.

Es ist somit für die Erzeugung von Lauten ein physiologischer Spielraum gegeben, der sich von der Stimmpädagogik sehr wohl verwenden lässt. Um sich den günstigen Einfluss der Nasenräume auf den Wohlklang der Stimme nicht entgehen zu lassen, ihn vielmehr nutzbar zu machen, muss es also das Bestreben der Gesangspädagogen sein, bei der Stimmschulung durch zweckentsprechende Übungen, z. B. Summen, Bevorzugen von m-, n- und ng-Lautkombinationen, darauf hinzuwirken, dass das Gaumensegel nicht unnötigerweise gespannt, sondern möglichst lange „locker" gelassen wird, d. h. soweit es eben mit dem Laut vereinbar ist, damit die „Tonwellen" — der „Luftstrom" also nur als deren Träger — sich in den Nasenräumen ausbreiten und durch deren Eigenschaft, eine Art Schalltrichter zu bilden, ihre Verstärkung finden können. Jedoch möge man sich hüten, diesen Einfluss zu überschätzen.

Noch eine andere praktische Bedeutung dürfte obige Forderung in sich schliessen. Gaumensegel, Gaumenbögen, Rachenwandmuskulatur, Kehlkopf und Zungenwurzel bilden einen Muskelkomplex, der in engem wechselseitigem Zusammenhange steht und dessen Muskelfasern, wie bei einem Uhrwerk ein Rädchen ins andere, teils automatisch teils reflektorisch ineinander übergreifen. Im besonderen steht das Gaumensegel durch den M. palato-pharyngeus in enger Beziehung mit der hinteren Rachenwand, namentlich dem untereren Schlundschnürer und durch diesen selbst wieder indirekt mit dem Kehlkopf. *Luschka*[1]) hebt hervor, dass dem unteren Schlundschnürer ein Einfluss auch auf die Kehlkopfmuskulatur zukommt: „Aus den räumlichen Beziehungen dieses Muskelkomplexes geht unzweideutig hervor, dass er seinen Einfluss nicht

[1]) *Luschka*, l. c.

ausschliesslich auf die Wandung des Pharynx übt, sondern seine Wirkung auch auf den Kehlkopf ausdehnen muss.“ Wegen des Zusammenhanges der meisten Fasern des unteren Schlundschnürers mit Bestandteilen des Kehlkopfes wurde er dann schlechtweg als Laryngopharyngeus bezeichnet. Die Wirkung soll sich nach genanntem Autor nicht allein auf die Hebung des Kehlkopfes sondern auch auf den Verschluss der Stimmritze erstrecken.

Jedenfalls gehört der untere Schlundschnürer zu den grösseren Muskeln, die die gröbere Einstellung des Kehlkopfes besorgen, worauf sich die feinere Einstellung der Stimmlippen durch die kleineren Muskeln aufbaut. Ist der „Unterbau“ eines solchen Muskel-„Gerüstes“ nicht zweckmässig angelegt, so wird sich bald ein Versagen der feineren Muskelwirkungen einstellen müssen.

In physiologischer Hinsicht bildet nun jener Rachen-Schlund-Kehlkopf-Muskelkomplex beim Singen[1]) eine besondere funktionelle Einheit, die in einer Koordination, d. h. einem Zusammenwirken zu gemeinsamer Zweckerfüllung ihren Ausdruck findet. Denn tritt jener Organkomplex zum Singen in Tätigkeit, so lassen sich folgende Veränderungen im Ansatzrohr, wenigstens in der Norm, verfolgen. Bei steigender Tonhöhe resultiert stärkere Spannung und Verkürzung der Stimmlippen, der Kehlkopf samt Zungenbein steigt in die Höhe, die Epiglottis richtet sich auf, die Gaumenbögen spannen sich stärker und das Gaumensegel hebt sich. Gleichsinnige Bewegungen erfolgen bei der Angabe von lauten Tönen und in der Vokalfolge U, O, A, E, I. Der umgekehrte Modus der Bewegung findet sich bei fallender Tonskala, leisen Tönen und umgekehrter Vokalfolge. Für das Gaumensegel im besonderen gelten noch folgende Veränderungen, die, schon früher bekannt, von *Scheier* [2]) mittels Röntgenstrahlen bestätigt wurden. Am wenigsten hebt es sich bei dem Vokal A, etwas mehr bei E, bis es schliesslich mit O, U, I stufenweise ansteigend beim letzten Vokal am höchsten steht. Im übrigen gilt aber das vom Ansatzrohr Gesagte: Je höher und je lauter der Ton, desto höher das Gaumensegel und desto fester der Verschluss. Nach *Gutzmann* [3]) kommt dieser Verschluss dadurch zustande, dass die in schlaffem Zustande

[1]) *Anmerkung:* Gähnen, Schlucken u. dergl. erfordern andere Muskelgruppierungen.

[2]) *M. Scheier*, Die Bedeutung des Röntgenverfahrens für die Physiologie der Sprache und Stimme. 1909.

[3]) *H. Gutzmann*, Eulenburgs Encyklop. Jahrb. 1899. 8. Jahrg., und in neueren Schriften.

bogenförmige Wölbung des Gaumensegels, sich bei der Hebung winklig abknickend, mit ihrer Hinterfläche der hinteren Rachenwand sich nähert, von der ihr andererseits ein Querwulst infolge Kontraktion der obersten Partien des oberen Schlundschnürers entgegenstrebt: der *Passavant*sche Wulst. Der untere Teil des Gaumensegels legt sich für gewöhnlich nicht an die hintere Rachenwand, sondern hängt ruhig herab.

Michel [1]) bestreitet nach seinen Beobachtungen das Auftreten des *Passavant*schen Wulstes beim Sprechen und Singen. „Im normalen Zustande bleibt die hintere Rachenwand fast vollständig ruhig, wenn ein Ton in natürlicher Stimmlage angegeben wird. Nur bei Angabe eines schwer herauszubringenden, ausserhalb des Stimmumfanges liegenden Tones bewegt sich die hintere Rachenwand nach oben, springen die hinteren Gaumenbögen stark nach der Mitte vor, nähern sich einander, woraus hervorgeht, dass die Rachenwandmuskeln nur bei den grössten Anstrengungen der Stimme in Mittätigkeit treten. Zeigen sich diese Bewegungen auch bei Angabe von bequemen Tönen der Mittellage, so ist das ein Beweis, dass die Muskulatur des hinteren Gaumenbogens sowie der Heber des Schlundkopfes für das geschwächte Gaumensegel kompensierend eingreifen. Immer findet man, wenn sich die oralen Rachenwände so verhalten, bei pharyngoskopischer Betrachtung des Schlundkopfes den vielbesprochenen Wulst."

Ohne Zweifel richtet sich demnach beim Singen das Auftreten des *Passavant*schen Wulstes je nach der Art des Sprechens und der Schulung der Stimme. *Scheier* konnte bei einfachen, ungeschulten Sängern einen festen Abschluss des Gaumensegels konstatieren, während unter sonst gleichen Bedingungen bei Kunstsängern ein Teil der Luft — also auch der Schallwellen — tatsächlich beim Singen mit „Kopfstimme" durch die Nasenhöhlen entwich. (Der Ton soll dadurch schöner und leichter klingen.) Durch Ausbleiben der Bildung des *Passavant*schen Wulstes würde sich also der freie Raum hinter dem Gaumensegel grösser gestalten.

Übers Ziel hinausgeschossen ist es jedoch meiner Ansicht nach, nun diese „nasale Resonanz" allein verantwortlich zu machen für grössere Tragfähigkeit, Kraft und Schönheit des Klanges der Stimme, der ohne Anstrengung und Ermüdung auf diesem Wege zu erzielen sei.

[1]) *Michel*, Berliner klin. Wochenschr. 1875; und: Zur Behandlung der Erkrankungen der Mundrachenhöhle. 1880.

Gelingt es, durch Schulung, zwar nicht direkt sondern indirekt, durch zweckentsprechende Übungen im Gaumensegel soweit als möglich — stets innerhalb gewisser Grenzen — eine Spannung hintanzuhalten, so wird diese relative Entspannung sich auch im ganzen Rachen- Schlund- Kehlkopf - Muskelkomplex geltend machen in Anbetracht der ständigen koordinatorischen Übereinstimmung seiner Teile, von denen oben die Rede war. Dass dabei unnütze Mit- und Nebenbewegungen vermieden werden (z. B. das ungebärdige Verhalten der Zungenwurzel, welches zu allerlei hässlichen Beiklängen, wie „knödlig", „gaumig", führen kann) und damit eine freiere Entfaltung der Stimmmittel gewährleistet wird, dürfte ohne weiteres auf der Hand liegen.

Als Effekt solcher passiven Ruhigstellung dieses Muskelkomplexes möchte ich das beim Singen von Skalen beim Kunstsänger deutliche Hinstreben des Kehlkopfes zu seiner Indifferenzlage ansehen, wie es mittels graphischer Methode von *Flatau* und *Gutzmann*[1]) festgestellt wurde. Weiterhin macht sich nach diesen Beobachtern beim Phonieren von Vokalen ein Verschwinden der Differenz des Kehlkopfstandes bemerkbar; dafür erfahren die peripheren Teile eine grössere Belastung, insofern als die zu den verschiedenen Vokalisationen noch notwendigen Veränderungen mehr und mehr der unabhängiger gewordenen Mundboden-Zungenaktion zufallen. Dabei kommt den vorderen Mundpartien und dem Zungenboden eine kompensatorische Tätigkeit[2]) zu, derart, dass durch Verkleinerung, Vergrösserung und Vorstülpung = Verlängerung der Mundöffnung ausgeglichen werden kann, was dem weichwandigen Mundhöhlenresonator an Volumen oder Gestalt fehlt. Wie könnte sonst ohne solche Tätigkeit die kleine Mundhöhle eines Kindes das U wie die Mundhöhle eines Erwachsenen hervorbringen?

Es ist der gleiche Vorgang wie bei anderen Kunstfertigkeiten. Man denke an die Gliederverrenkungen des Anfängers im Klavierspiel und die ruhigen Bewegungen des Virtuosen. Die Mitbewegung ist bei dem Ungeübten am grössten, und der Zweck der Übung und Erziehung der Muskelbewegungen ist zum Teil, den nervösen Impuls auf einzelne Gruppen von Muskeln isolieren zu lernen.

---

[1]) *Flatau* und *Gutzmann*. Arch. f. Laryngologie u. Rhinologie. Bd. XVI.

[2]) In der Gesangspädagogik bekannt als „Vorn im Munde Sprechen und Singen".

Das Resultat der Übung ist daher in Hinsicht der Mitbewegungen Aufhebung der Tendenz zur Mitbewegung (*Joh. Müller* [1]).

Den Kehlkopf jedoch in jener Indifferenzlage „fixieren" zu wollen, hiesse Ursache und Wirkung verwechseln, ein Kardinalfehler, welchem die Stimmpädagogik nur allzu häufig zum Opfer gefallen ist.

Zum anderen kann ein Verhalten des gesamten in Rede stehenden Organkomplexes in der gekennzeichneten Richtung nicht ohne Rückwirkung bleiben auf das feinere Spiel der kleineren Kehlkopfmuskeln, von deren diffizilem Zusammenwirken Spannung, Länge und Querschnitt der Stimmlippen und das Verhältnis dieser Grössen zueinander in hohem Masse abhängig ist, woraus als Produkt das jeweilige Verhältnis von Grundton und Obertönen im Stimmklang und somit der Stimmklang selbst hervorgeht. Wenn auf der g-Saite einer Violine d^1 und a^1 mit Verkürzung und grösserer Spannung der g-Saite anders klingen als die Töne der entsprechenden leeren Saiten, wenn von den einzelnen Stimmgattungen Bass, Bariton, Tenor, Alt, Sopran derselbe Ton z. B. c^1 hervorgebracht werden kann, wenn in den verschiedenen „Registern" z. B. vom Tenor c^2 mit „Bruststimme" und „Falsettstimme" erzeugt werden kann, jedoch stets eine andere Klangfarbe resultiert, so ist, von dem Einfluss des Ansatzrohres abgesehen, die Verschiedenheit des Timbres herzuleiten aus der von Fall zu Fall wechselnden Einstellung der Stimmlippen und dem jeweilig verschiedenen Verhältnis von Länge zu Spannung zu Querschnitt, wozu noch die anatomisch-histologische Beschaffenheit tritt. Es bestehen eben eine Reihe physiologischer Möglichkeiten, um den gleichen akustischen Erfolg, z. B. dieselbe Tonhöhe, zu erzielen. Die physiologisch zweckmässigste und sparsamste, die akustisch wirksamste und schönste Einstellung jener Organe im Einzelfall herauszufinden und durch Schulung weiter zu bilden, ist Sache und Kunst des Gesanglehrers, Nachahmungsfähigkeit und Geschicklichkeit des Schülers.

Möge also die Stimmpädagogik statt des eitlen Strebens nach „Resonanz in den oberen Kopfhöhlen" bei der Stimmschulung mehr ihr Augenmerk auf das Gaumensegel und eine möglichste Hintanhaltung der Spannung im Ansatzrohr, soweit es mit den phonetischen Forderungen vereinbar ist, lenken.

---

[1]) *Joh. Müller*, Handbuch der Physiologie. 1840. Bd. 2.

Am Schlusse der Arbeit drängt es mich, Herrn Geheimrat *Passow* für die Erlaubnis zur Abfassung derselben, sowie Herrn Professor *Karl L. Schaefer* für die mir in reichem Maße gewährte Unterstützung mit Rat und Tat meinen ehrerbietigsten und aufrichtigsten Dank auszusprechen. Für freundliche Erteilung von Auskunft bin ich auch Herrn Professor *Gutzmann* zu Dank verpflichtet.

Lebenslauf.

Verfasser vorliegender Arbeit, *Max Giesswein*, evangelischer Konfession, ist der Sohn des Kgl. Württemb. Hofsängers Max Giesswein und wurde am 14. Dezember 1884 in Schortewitz (bei Cöthen) geboren. Seine wissenschaftliche Vorbildung erhielt er auf Gymnasien in Köln, Hamburg, Frankfurt a. M., Dresden, zuletzt auf dem Kgl. Eberhard-Ludwigs-Gymnasium zu Stuttgart, das er im Juli 1904 mit dem Zeugnis der Reife verliess.

Im Herbst 1904 wurde er in die Kaiser Wilhelms-Akademie für das militärärztliche Bildungswesen zu Berlin aufgenommen. Der Militärpflicht mit der Waffe genügte er vom 1. April 1905 bis 30. September 1905 bei der 8. Kompagnie des Kaiser-Alexander-Garde-Grenadier-Regiments Nr. 1.

Im März 1906 bestand er die ärztliche Vorprüfung. Am 1. Oktober 1909 wurde er zum Unterarzt beim 7. Badischen Infanterie-Regiment No. 142 ernannt und gleichzeitig auf 1 Jahr zum Kgl. Charité-Krankenhause zur Ableistung des praktischen Jahres kommandiert. Während dieser Zeit war er tätig auf der 2. medizinischen Klinik (Geh. Rat Prof. Dr. *Kraus*), der psychiatrischen Klinik (Geh. Rat Prof. Dr. *Ziehen*), der chirurgischen Klinik (Geh. Rat Prof. Dr. *Hildebrand*), der Infektionsabteilung der Kinder-Klinik (Geh. Rat Prof. Dr. *Heubner*) und auf der Ohren-Klinik (Geh. Rat Prof. Dr. *Passow*). Im Wintersemester 1910/11 legte er die ärztliche Staatsprüfung ab.

Während seiner Studienzeit besuchte er die Vorlesungen, Kliniken und Kurse folgender Herren Professoren und Dozenten, *Beitzke*, *Benda*, *Bier*, *Brieger*, *Bumm*, *Claisen*, *Drude* (†): *Engelmann* (†), *Engler*, *Ewald*, *B. Fränkel*, *Frey*, *Gabriel*, *Hertwig*, *Heubner*, *Hildebrand*, *Hiller*, *His*, *Hoffmann*, *A. Köhler*, *Kraus*, *Langgaard*, *Lesser*, *v. Michel*, *Nagel*, *Olshausen*, *Orth*, *Pagel*, *Passow*, *Pels-Leusden*, *Posner*, *Rubner*, *Schulz*, *F. E. Schulze*, *Sonnenburg*, *Strassmann*, *Stumpf*, *Tierfelder*, *H. Virchow*, *Waldeyer*, *Warburg*, *Williger*, *Ziehen*.

Allen diesen Herren, seinen hochverehrten Lehrern, spricht der Verfasser an dieser Stelle seinen ehrerbietigsten Dank aus.